[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
F25J 3/00
C10G 5/06
C10G 5/04

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01124271.X

[45] 授权公告日 2005 年 6 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1205450C

[22] 申请日 2001.8.23 [21] 申请号 01124271.X

[71] 专利权人 吕应中

地址 100084 北京市清华大学能科楼(吕应运转)

[72] 发明人 吕应中

审查员 孙海燕

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

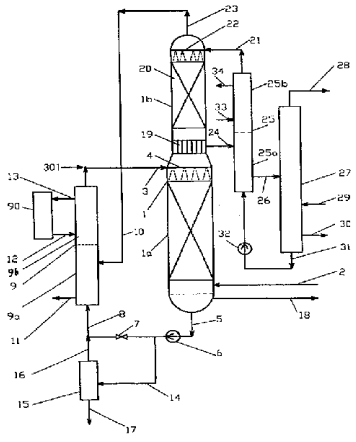
代理人 汤保平

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称 天然气综合处理装置

[57] 摘要

本发明提供一种天然气综合处理装置，该装置中包含有下列主要综合处理部件：—综合处理器，包括脱水段与分离段，该综合处理器与进气管相连接；—载热工质换热器，分别与综合处理器的气体出口管及载热工质进口管相连接，并接有干气体输出管；—油换热器，分别与综合处理器的重油入口管与富集油出口管相连接；—分馏器，分别与油换热器的油出口管与分馏器的油出口管相连接，并接有轻油产品输出管；—抑制剂再生器，分别与综合处理器的载热工质排出管及载热工质换热器的进口管相连接；—制冷系统连接于载冷工质换热器，用于向载热工质换热器及油换热器提供冷却工质。能够同时进行天然气脱水及轻油分离的综合处理装置。



ISSN1008-4274

1．一种天然气综合处理装置，其特征在于，该装置中包含有下列主要综合处理部件：

一综合处理器(1)，包括冷冻-脱水段(1a)与分离段(1b)，该冷冻-脱水段与进气管(2)、排油管(18)、载热工质进口管(4)、及载热工质排出管(5)相连接，分离段下部与富集油出口管(24)相连接，其上部与干气出口管(23)及重油入口管(21)相连接；

一载热工质换热器(9)，分别与综合处理器的冷干气出口管(10)、干气输出管(11)、载热工质进口管(3)相连接，并接有一组冷却介质进口管(12)与冷却介质出口管(13)；

一油换热器(25)，分别与综合处理器的重油入口管(21)、富集油出口管(24)、油换热器的油出口管(26)、以及分馏器(27)的重油出口管(31)相连接，并接有另一组冷却介质进口管、与冷却介质出口管；

一分馏器(27)，分别与油换热器的油出口管(26)、及分馏器的重油出口管(31)相连接，并接有轻油产品输出管(28)、加热介质入口管(29)、及加热介质出口管(30)；

一抑制剂再生器(15)，分别与综合处理器的载热工质分流管(14)、抑制剂出口管(16)、及排水管(17)相连接；

一制冷系统(90)，用于向载热工质换热器及油换热器提供冷却工质。

2．如权利要求 1 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中综合处理器的冷冻-脱水段(1a)，是一个具有冷冻与同时降低露点的双功能部件，其上部装有载热工质分配器(4)，后者将经过深度冷却的载热工质分散并向下流动，经过填料层，在其中与向上流动的原料气体直接接触并冷却，使其露点下降到所需的低水平；其中综合处理器的分离段(1b)，是一个装有满填料或翅片的吸收柱，由上部重油分配器(22)喷入重油，向下流动，与上升的原料气充分接触并吸收其中的轻油组分。

3．如权利要求 2 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中综合处理器的冷冻-脱水段，所用的载热工质为含有气体水合物抑制剂的液

体；载热工质内所采用的水合物抑制剂，是有机化合物或电解质；其浓度须能保证在原料气的成分下，在全部运行的温度与压力范围内，不致有气体水合物的生成。

4．如权利要求 1 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中所采用的制冷系统为利用综合处理器冷干气出口管(10)的冷干气膨胀制冷的气体膨胀机(35a)及一个气液分离柱(38)，气体膨胀机(35a)与综合处理器的冷干气出口管(10)相连接，气液分离柱(38)与低温气体出口管(40)及分离柱排液管(39)相连接，这种制冷系统不需要消耗外部能源。

5．如权利要求 4 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中所采用的气体膨胀设备，在该设备前有一水合物抑制剂流入管(36)，向气体内注入水合物抑制剂；所采用的水合物抑制剂，是有机化合物或电解质；其浓度须能保证在原料气的成分下，在全部运行的温度与压力范围内，不致有气体水合物的生成。

6．如权利要求 4 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中所采用的气体膨胀设备，该设备为一种减压膨胀阀。

7．如权利要求 4 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中所采用的气体膨胀设备，该设备为一种透平式气体膨胀-压缩机。

8．如权利要求 4 所述的天然气综合处理装置，其特征在于，其中所采用的气体膨胀设备，该设备为一种特制的高效气体膨胀-压缩机，包含一个气体膨胀气缸(46)与一个气体压缩气缸(47)，每一气缸内各有一个活塞(48, 49)，两个活塞之间采用刚性轴(50)连接，而每一个气缸的两端各有一个气体进口(51, 52)与一个气体出口(53, 54)。

天然气综合处理装置

技术领域

本发明提供一种能够同时进行天然气脱水及分离其中轻油组分的综合处理装置。该装置可同时进行无霜深冷脱水及低温轻油吸收，其系统简单、成本低廉，而且不向环境排放有害气体，是一种高效率、低成本的天然气综合处理装置。

背景技术

近年来全世界对于减少二氧化碳气体的排放高度关切，从而对清洁能源的重视与日俱增。天然气是一种可以经济地大量开采与使用的高效清洁能源，又能有效地减排二氧化碳。同时，由于海底天然气水合物资源的大量发现，其总储量有可能超过任何一种其它化石能源。因此，预计全世界天然气的生产与消费量将逐渐超过石油与煤炭，而成为首要能源。

天然气中所含的主要可燃成分为甲烷（以下简称“C_1”），同时还含有一定量度的更高分子碳氢化合物，如乙烷（简称“C_2”）、丙烷（简称“C_3”），等等。这些高分子的碳氢化合物，有时合称为“轻油”成分。由于后者中的大部份为宝贵的化工原料，其经济价值远高于作为燃料的天然气本身。因此，世界各天然气生产国又普遍建造了各种天然气处理厂，将其中轻油组分提取，由此获得巨大利润。

从天然气中分离轻油，目前一般采用深度冷冻法。由于碳氢化合物的凝结温度随其分子量的减小而急剧下降，因此，由大量的甲烷 C_1 中要获得较高的各轻油组分回收率，特别是其中分子量最小的乙烷 C_2，需要采用透平式气体膨胀－压缩机，将全部天然气的温度降低到－150℃以下，才能达到高效分离的目的。这一工艺需消耗大量能源，设备投资也很昂贵。

不仅如此，为了防止被处理的天然气中所含的水份在如此低温下冻结成冰并生成水合物沉积，以致堵塞流道，阻碍运行，就必须将原料气首先进行深度脱水，使其露点降低到－150℃以下。在目前的技术水平下，只有采用昂贵的分子筛脱水器，才能达到这一目的。因此，目前世界上已建成的天然气处理工厂，由于投资昂贵，数量不可能太多，只能处理一小部分天然气。而大部分含有轻油组分的天然气，也只能作为燃料使用，把宝贵的化学原料烧掉。如何能以更少的投资，建造更简单易行的天然气综合处理工厂，处理大部分含有轻油组份的天然气，就成为天然气大力发展过程中的一个重要课题。

鉴于近年来天然气采用冷冻法脱水工艺已有新的突破，并开始进入商业化阶段。例如，本人于 1997 年取得的美国专利 5，664，426，“再生式气体脱水装置”（REGENERATIVE GAS DEHYDRATOR），和 2000 年取得的美国专利 6，158，242，“气体脱水方法和装置”（GAS DEHYDRATION METHOD AND APPARATUS）。后者并已在中国申请专利，申请号 99109760.2，正在审查中。天然气冷冻脱水工艺及设备的发展成功，就为发明一种将冷冻脱水与轻油分离相结合的全新的综合处理装置打开了大门。为此

发明内容

本发明的目的在于提供一种能使天然气在其中同时脱水与分离轻油的综合处理装置，其设备紧凑、投资低廉，适用于各种天然气田及海上平台，从而能回收大部分天然气中的轻油组分。

本发明的另一目的在于提供一种节能的高压天然气脱水一脱轻油综合处理装置，其运行无需依赖外部能源供应。

本发明的又一目的在于提供一种高效率的自由活塞式气体膨胀一压缩机，以便在天然气压力接近输出管压力的条件下，以最小的能源消耗，为上述天然气综合处理装置提供冷源。

本发明一种天然气综合处理装置，其特征在于，该装置中包含有下列主要综合处理部件：

一综合处理器，包括冷冻-脱水段与分离段，该冷冻-脱水段与进气

管、排油管、载热工质进口管、及载热工质排出管相连接，分离段下部与富集油出口管相连接，其上部与干气出口管及重油入口管相连接；

一载热工质换热器，分别与综合处理器的冷干气出口管、干气输出管、载热工质进口管、及载热工质出口管相连接，并接有一组冷却介质进口管与冷却介质出口管；

一油换热器，分别与综合处理器的重油入口管、富集油出口管、油换热器的油出口管、以及分馏器的重油出口管相连接，并接有另一组冷却介质进口管、与冷却介质出口管；

一分馏器，分别与油换热器的油出口管、及分馏器的重油出口管相连接，并接有轻油产品输出管、加热介质入口管、及加热介质出口管；

一抑制剂再生器，分别与综合处理器的载热工质分流管、抑制剂出口管、及排水管相连接；

一制冷系统，用于向载热工质换热器及油换热器提供冷却工质。

其中综合处理器的冷冻-脱水段，是一个具有冷冻与同时降低露点的双功能部件，其上部装有载热工质分配器，后者将经过深度冷却的载热工质分散并向下流动，经过填料层，在其中与向上流动的原料气体直接接触并冷却，使其露点下降到所需的低水平；其中综合处理器的分离段，是一个装有满填料或翅片的吸收柱，由上部重油分配器喷入重油，向下流动，与上升的原料气充分接触并吸收其中的轻油组分。

其中综合处理器的冷冻-脱水段，所用的载热工质为含有气体水合物抑制剂的液体；载热工质内所采用的水合物抑制剂，可以是有机化合物如醇类、酮类，也可以是电解质；其浓度须能保证在原料气的成分下，在全部运行的温度与压力范围内，不致有气体水合物的生成。

其中所采用的制冷系统为利用综合处理器冷干气出口管的冷干气膨胀制冷的气体膨胀机及一个气液分离柱，分别与综合处理器的冷干气出口管、低温气体出口管、及分离柱排液管相连接，这种制冷系统不需要消耗外部能源。

其中所采用的气体膨胀设备，在该设备前有一水合物抑制剂流入管，向气体内注入水合物抑制剂；所采用的水合物抑制剂，可以是有机化合物如醇类、酮类，也可以是电解质；其浓度须能保证在原料气的成分下，

在全部运行的温度与压力范围内，不致有气体水合物的生成。

其中所采用的气体膨胀设备，该设备为一种减压膨胀阀。

其中所采用的气体膨胀设备，该设备为一种透平式气体膨胀-压缩机。

其中所采用的气体膨胀设备，该设备为一种特制的高效气体膨胀-压缩机，包含一个气体膨胀气缸与一个气体压缩气缸，每一气缸内各有一个活塞，两个活塞之间采用刚性轴连接，而每一个气缸的两端各有一个气体进口与一个气体出口。

附图说明

本发明的上述与其它特征与优点，将参照以下各附图进行说明，其中：

图 1 表示本发明提出的天然气综合处理装置的系统图，此装置内采用了工业冷冻设备作为冷源；

图 2 表示本发明提出的天然气综合处理装置的另一种系统图，此装置内采用了高压的原料天然气膨胀设备制冷，从而不需要由外部供应能源。

图 3 表示本发明提出的一种高效率的自由活塞式气体膨胀压缩机，该设备可用于图 2 所表示的天然气综合处理装置内。

具体实施方式

图 1 表示本发明提出的天然气综合处理装置的系统图，此装置内采用了工业冷冻设备作为冷源。该装置内的核心设备为一台综合处理器 1（以下简称“处理器”），其中又分为脱水段 1a，及分离段 1b。

含有饱和水蒸气及各种轻油组分的原料天然气（以下简称“原料气”）由处理器 1 下部的进气管 2 进入脱水段 1a 并向上流动。

一种含有水合物抑制剂（以下简称“抑制剂”）的液态载热工质（以下简称“工质”）由脱水段 1a 上部的载热工质进口管 3 进入脱水段 1a 内的载热工质分配器 4 向下喷淋，并与向上流动的原料气直接接触换热。在脱水段 1a 内还可装入填料或翅片，以强化换热。

载热工质内所采用的水合物抑制剂，可以是有机化合物（如醇类、酮类等），也可以是电解质。其浓度须能保证在原料气的成分下，在全部运行的温度与压力范围内，不致有气体水合物的生成。

原料气内的饱和水蒸气，在气体上升并与冷工质接触换热过程中，不断凝结成水并与工质相混合，最后与工质一起由处理器 1，底部的载热工质排出管 5 排出。脱水后的原料气，其温度及露点已下降到与进口冷工质相近的低温，并继续向上流入处理器 1 上部的分离段 1b 内。

由载热工质排出管 5 排出的工质，经升压泵 6 升压后，其中大部分经由分配阀 7 及进口管 8 进入载工质换热器 9 下部的回热段 9a。在回热段 9a 内，工质被已脱水并脱除轻油的冷天然气（以下简称“冷干气”）所冷却。冷干气由冷干气入口管 10 进入换热器 9，升温后由干气体输出管 11 流出，并进入天然气输送管线（未画出）。

工质在回热段 9a 内被预冷后，向上流动进入换热工质换热器 9 上部的深冷段 9b。在深冷段 9b 内，工质被由制冷设备 90 送来的冷却介质所冷却，该冷却介质由其进口 12 进入深冷段 9b，而由其出口 13 返回冷冻设备 90。

经深度冷却后的载热工质，由深冷段 9b 顶部流出，经载热工质进口管 3 重新回到脱水段 1a 内，执行脱水任务。由于有少部份抑制剂被原料气带走而损失，其损耗量由补充管 301 补充。

由升压泵 6 升压后的工质，有一小部分经分流管 14 进入抑制剂再生器 15，在其中经过分馏后，浓集的抑制剂由抑制剂出口管 16 进入工质换热器 9 下部的回热段 9a，而废水则由排水管 17 排出。

如果原料气内所含的轻油组分（或其中某些组分）较多，则在脱水过程中可能部分地冷凝成为液体而随工质下降到脱水段底部，并飘浮在液体的上面。这部分冷凝的轻油，可由排油管 18 作为产品的一部分排出。

在分离段 1b 内，已脱水的冷原料气向上穿过富集油收集器 19 中的通气孔，并流过吸收柱 20。吸收柱 20 内装满填料或翅片，并由分离段 1b 上部重油入口管 21 及重油分配器 22 喷入重油，向下流动，与上升的原料气充分接触并吸收其中的轻油组分。重油的温度略低于原料气的温度，以便补偿气态轻油组分被吸收时所放出的汗热，从而使整个吸收过程近

似地在原料气进入分离段 1b 时的低温下按等温过程进行。

由于分离段 1b 内的轻油低温吸收过程是完全的逆流萃取过程，因此分离效率很高，而甲烷 C_1 的吸收量则相对较少。例如，当重油（分子量大于 210）在－30℃下进行吸收时，估计 C_2 的回收率可达到 90%以上，而 C_3 以上的回收率可达 99%以上，此时甲烷 C_1 的吸收量可控制在 10%之内。

基本上脱除了轻油组分并脱水后的冷天然气，如前所述，由冷干气出口管 23 经冷干气入口管 10 回流到回热段 9a 内。而吸收了轻油组分、并溶解了甲烷 C_1 达到饱和状态的重油（以下简称“富集油”）则由富集油出口管 24 进入油换热器 25 的下部－即油回热段 25a。富集油经冷却后由油出口管 26 进入分馏器 27。后者将富集油中的轻油组分连同甲烷 C_1 气体与重油吸收介质分开。前者作为浓集的轻油原料气，由轻油产品输出管 28 送往轻油炼厂，而后者（重油）则作为吸收介质，由重油出口管线 31 经加压油泵 32 升压后送回到油换热器 25 内。在分馏器 27 的下部，有加热回路送入分馏所需的热量。加热介质的入口为 29，其出口为 30。

在油换热器 25 内，重油在回热段 25a 中被由富集油入口送入的低温富集油所预冷，然后进入深冷段 25b，由制冷设备 90 送来的冷却工质进行深度冷却达到所需的低温。冷却工质的入口为 33，其出口为 34。如前所述，低温重油由重油入口管 21 进入分离段 1b 重复使用。

如上所述的天然气综合处理装置，可以同时进行深冷脱水与轻油分离。其产品为已脱水的“干”天然气，以及已富集的轻油气体，后者所含甲烷量仅为原料天然气中甲烷的 10%以下，从而使轻油组分的进一步分馏成本大大下降。此种综合处理装置的设备简单，投资低廉，可应用于各种气田、集气站、海上平台等，从而可处理大部分的原料天然气。回收宝贵的轻油组分。

图 2 表示本发明提出的天然气综合处理装置的另一种系统图，此装置适用于原料气压力高于天然气输送主管线压力的情况。在此装置内，采用了处于高压下的原料天然气膨胀制冷，从而不需要由外部供应能源。

图 2 内的大部分设备，包括：综合处理器 1，抑制剂再生器 15，油

换热器 25，分馏器 27，以及相应的各连接管线，均与图 1 相同，并采用同样的编号，故其功能不在此赘述。

图 2 所示系统的特征在于，其中采用了气膨胀设备制冷，取代了图 1 内的普通工业制冷设备 90。根据原料气压力高出产品气输送管线所需压力的压差大小的不同，可以选用以下三类不同的气体膨胀设备：

（1）当原料气的压力高出输气管线压力很多时，可采用简单的减压阀使气体降压到输气管的压力，并同时膨胀制冷。此时不用回收气体的膨胀功，也不需要重新压缩气体；

（2）当原料气的压力高出输气管线压力不多，但制冷则必须将气体降压到输气管压力之下时，一般应采用透平式气体膨胀－压缩机，首先将高压原料气膨胀到略低于输气管线的压力，以便充分制冷并回收部分膨胀功；然后将准备送入输气管线的冷干气，利用回收的膨胀功进行再压缩，使其压力回升到输气管线所需的压力。

（3）如果原料气的压力高出输气管线压力很少时，则需要采用比透平式气体膨胀－压缩机的效率更高的设备，最大限度地回收膨胀功，并将处理后的干气重新压缩，升压到输气管线所需的压力，本发明为此提出一种采用自由活塞式的气体膨胀压缩机，其详情将在图 3 中说明。

应当指出，上述第（2）与第（3）种气体膨胀压缩设备，均可再利用外加的压气机，使干气进一步升压。但此种方案在经济上是否可行，需要根据具体情况分析决定。

在图 2 中，仅以第（2）种透平式气体膨胀一压缩机为例，说明本发明系统的特点。其它两种气体膨胀制冷设备的流程系统，与此大同小异，不再另述。

请再参阅图 2 所示的系统中的气体膨胀制冷流程。经过综合处理器 1 脱水并提取了轻油组分的冷干气由冷干气出口管 10 进入一个透平式气体膨胀一压缩机中的膨胀机 35a，在膨胀降温之前并由抑制剂气体入口管线 36 注入定量的抑制剂，以防止气体降温后生成固体水合物的沉积。

膨胀后的低温冷气体，夹带着部分冷凝液滴，经由膨胀气体管 37 进入分离柱 38。在分离柱 3 8 中分离出来的液体，含有水合物抑制剂，由分离柱 3 8 排液管线 39 进入再生器 15。该再生器 1 5 的功能，已在图 1

中叙述，此处不再重复。

经过进一步脱水的低温冷气体，由低温气体出口管 40 进入载热工质换热器 9，当冷气体在载热工质换热器 9 内吸收传热工质中的热量后，由中温气体出口管 42 进入气体压缩机 35b 升压。升压后的气体，由干气体输出管 11 送往输气总管线（未在图内画出）。

有一小部分低温冷气体，通过分流调节阀 44，连接到冷却剂进口管 33，并进入油换热器 25 的深冷段 25b 充当冷源。由油深冷段 25b 回流的低温冷气体，由冷却剂出口管 34 与中温气体出口管 42 汇合，经由气体压缩机 35b 升压后输出。

由此可见，图 2 所示的系统，完全利用高压气体膨胀时的内能变化制冷，而无需另外设置工业冷冻设备 90，也不需要外部能源供应。

图 3 为本发明所提出的深冷式气体脱水装置中为高压天然气膨胀制冷用的一种高效率膨胀一压缩机，其特征在于其中采用了自由活塞式的机械装置，以保证有较高的气动力学与机械效率。

如前所述（参看图 2 的说明），当湿天然气的高压力比输气管线所要求的压力高出不多时，只有当气体膨胀一压缩机回收机械功的效率非常高，才有可能使之在气体膨胀制冷的同时，又回收大部分膨胀功，重新压缩膨胀后的气体，使其压力达到输气管线所要求的水平。为此，本发明中采用了往复式的自由活塞膨胀一压缩机。

该机由高强度的轻质合金制成。气缸壳 45 有大小两端，膨胀机气缸 46 的直径较小，而压缩机气缸 47 的直径较大，相应的两个活塞 48 及 49 用一根空心短轴 50 连接。这种机器的运动部件结构简单，重量轻，惯性小，故可以极高频以高效率运行。由于天然气处于高压之下，因此气缸的尺寸不大。例如，在日处理 50 立米湿天然气的装置内，将 10MPA 高压气膨胀到 5MPA 的自由活塞式膨胀机的气缸，按每分钟 4，000 次左右的频率运行，其直径仅约 12 厘米左右，这是现代工业已能达到的技述水平。

图 3 中还画出了膨胀机气缸两端的进气口 51 及 52，和出气口 53 及 54；压缩机气缸的进气口 55 及 56，和出气口 57 及 58。各气缸的进、出气口上均装有阀门，交替地启用，以完成膨胀或压缩功能。这些阀门均

可采用类似于汽车发动机上使用的阀门，故未在图中画出。

如前所述（参看图 2 的说明），在特殊情况下，如进口的湿天然气的压力，比输气管所要求的压力高出不多、或者相等，或者略低的情况下，也有可能利用气体的膨胀制冷，然后用膨胀机所输出的机械功，并补弃供应一部份外加的机械功，将膨胀后的气体再压缩到输气管所要求的压力。外加的机械功可以用一般内燃机或电机提供，但较好的选择是以在上述自由活塞式膨胀一压缩机的一端，将连接两个活塞的空心轴延长，如图 3 中虚线 59 所示，再连接到一台采用自由活塞结构的、以天然气为燃料的往复式内燃机上。这种内燃机在工业上已有应用先例，故图 3 内未画出。

综上所述，本发明提供了一种能够同时进行天然气脱水及分离其中轻油组分的综合处理装置。该装置可同时进行无霜深冷脱水及低温轻油吸收，其系统简单、成本低廉，而且不向环境排放有害气体，是一种高效率、低成本的天然气综合处理装置。

还必须指出，除以上所说明的本发明的系统图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。

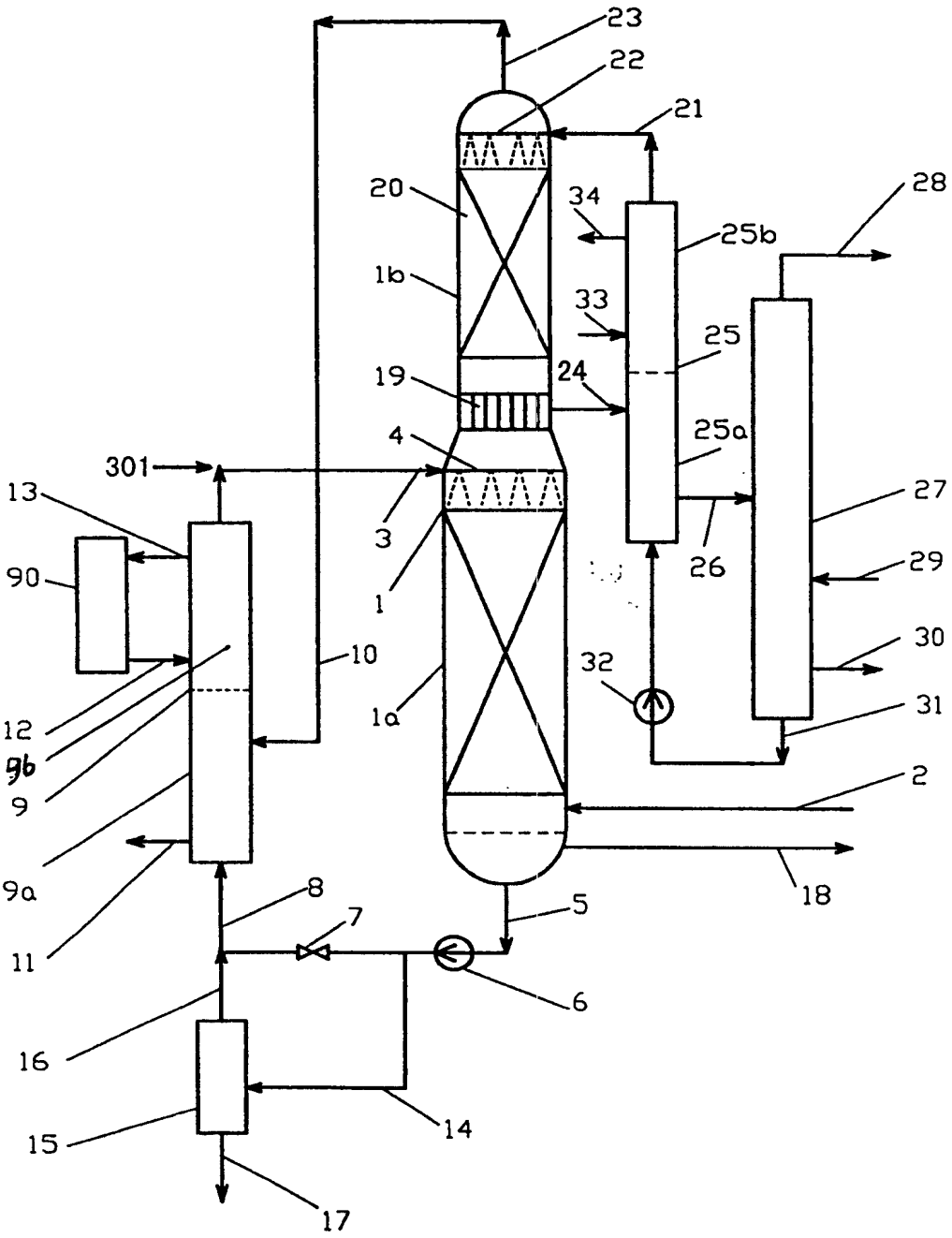

23
22
21
20
34
25b
28
1b
33
25
19
24
4
25a
301
13
3
27
90
1
26
29
10
30
32
12
1a
31
9b
9
2
9a
18
8
5
7
11
6
16
14
15
17

图 1

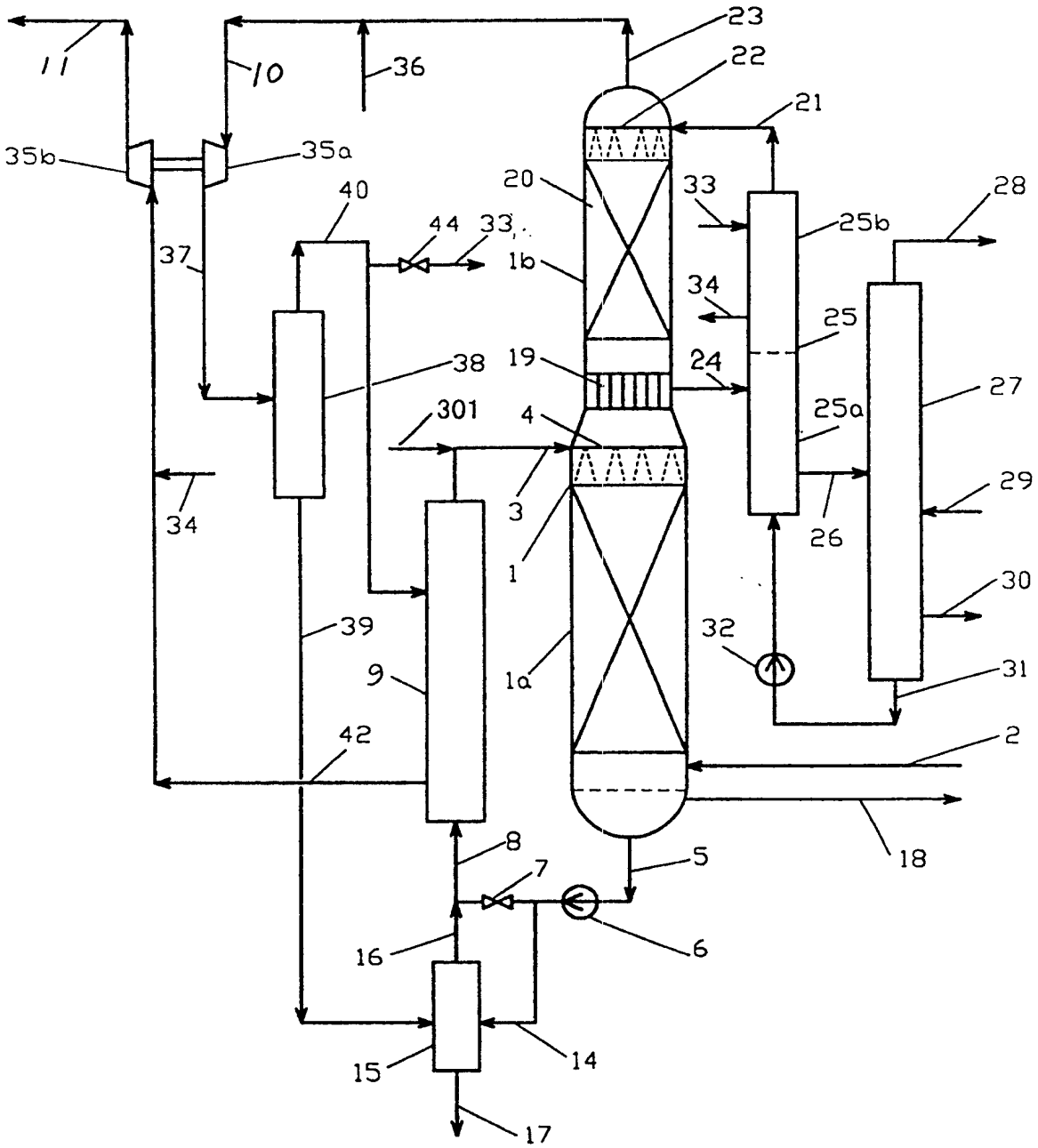

11
10
36
23
22
21
35b
35a
20
33
28
40
44
33
25b
37
1b
34
25
38
19
24
27
301
4
25a
34
3
29
1
26
30
39
32
9
1a
31
42
2
8
18
7
5
6
16
15
14
17

图 2

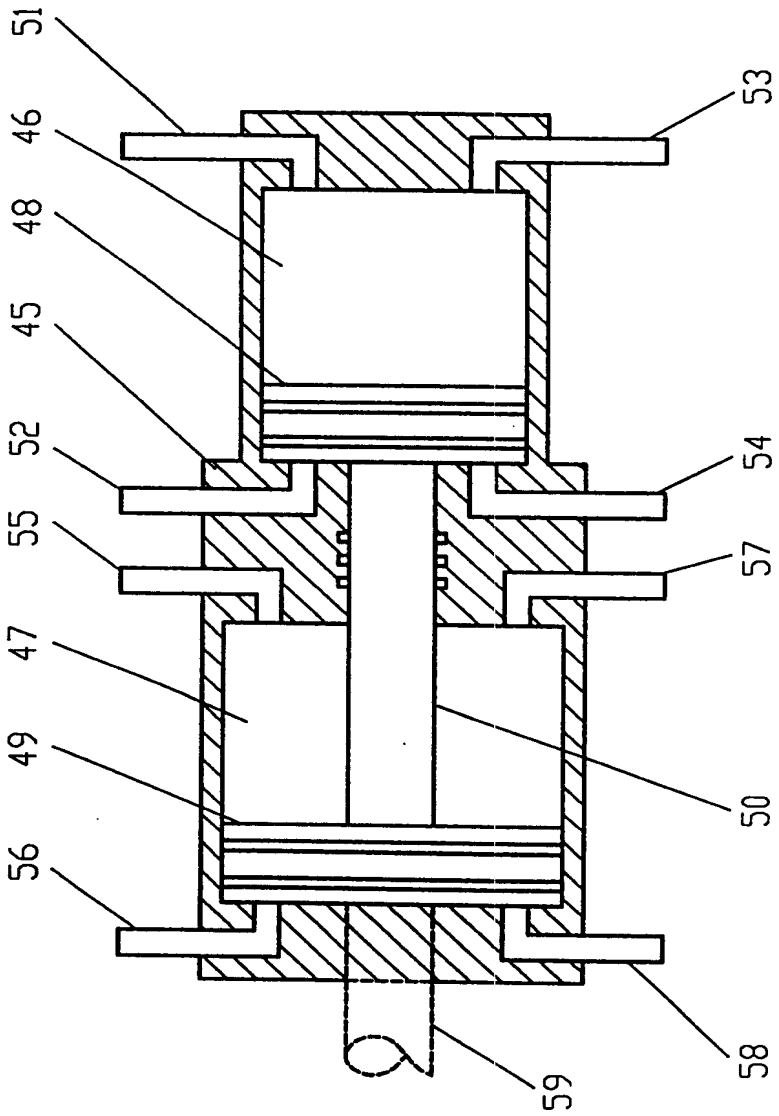


图3