(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102309946 B
(45)授权公告日 2015.04.29

(21)申请号 201110190724.3
(22)申请日 2011.06.28
(30)优先权数据
12/826393 2010.06.29 US
(73)专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州
(72)发明人 K·R·韦伯 M·卡马蒂
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 严志军 曹若
(51)Int.Cl.
B01J 3/00(2006.01)
(56)对比文件
US 2008/0107547 A1,2008.05.08,
US 7144226 B2,2006.12.05,
CN 85105091 A,1986.12.24,全文.
US 2008/0107547 A1,2008.05.08,
WO 02/25117 A1,2002.03.28,全文.
审查员 曾小青

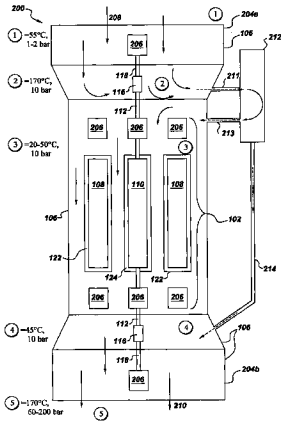
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

用于酸性气体压缩的方法和设备

(57)摘要

本发明涉及用于酸性气体压缩的方法和设备,具体而言,提供了用于处理从天然气净化大量产生的副产品酸性气体的新颖的电机-压缩机系统和方法。在一个实施例中,一种新颖的电机-压缩机系统包括:第一压缩机;构造成接收来自第一压缩机的压缩气体的压力容器;联接到压力容器上的热交换器,该热交换器构造成冷却压缩气体并提供冷却的压缩气体;以及被容纳在压力容器内的电动机,其中该电动机机械地联接到第一压缩机上,并且其中压力容器构造成接收来自热交换器并接触电动机的冷却的压缩气体的至少一部分。本文所述的方法和系统在其中在高压下对大量酸性气体进行压缩并且防漏很关键的酸性气体重注操作中特别有用。



CN 102309946 B

1. 一种用于压缩酸性气体混合物的方法，所述方法包括：

(a) 压缩包含硫化氢和二氧化碳的气体混合物，以在处于从 5 巴到 20 巴的范围内的第一压力下提供压缩气体混合物，所述压缩气体混合物包含从 10 到 95 体积百分比的硫化氢和从 90 到 5 体积百分比的二氧化碳，所述硫化氢和所述二氧化碳共同以对应于所述压缩气体混合物的总重量的 90 到 100 重量百分比的量存在，所述压缩在第一压缩机中执行，所述第一压缩机联接到构造成接收所述压缩气体混合物的压力容器上；

(b) 将在步骤 (a) 中形成的所述压缩气体混合物冷却到处于从 20℃到 50℃的范围内的温度，以提供冷却的压缩气体混合物；以及

(c) 使所述冷却的压缩气体混合物的至少一部分与第一电动机接触，所述第一电动机被容纳在所述压力容器内，所述第一电动机机械地联接到所述第一压缩机上。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括步骤 (d)，其中将在步骤 (b) 中冷却的所述压缩气体混合物的至少一部分和在步骤 (c) 中与所述电动机相接触的冷却的压缩气体混合物的至少一部分进一步压缩到处于从 60 巴到 200 巴的范围内的压力。

3. 一种系统，包括：

第一压缩机；

构造成从所述第一压缩机接收压缩气体的压力容器；

联接到所述压力容器上的热交换器，所述热交换器构造成冷却所述压缩气体并提供冷却的压缩气体；以及

被容纳在所述压力容器内的电动机，其中所述电动机机械地联接到所述第一压缩机上，并且其中所述压力容器构造成接收来自所述热交换器并接触所述电动机的所述冷却的压缩气体的至少一部分。

4. 根据权利要求 3 所述的系统，其特征在于，所述第一压缩机是多级离心式压缩机。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的系统，其特征在于，所述热交换器包括冷却单元和除水单元。

6. 根据权利要求 3 或 4 所述的系统，其特征在于，所述电动机包括频率控制电路，以匹配所述第一压缩机的可变功率需求。

7. 根据权利要求 3 所述的系统，其特征在于，所述系统还包括在所述压力容器的出口侧与所述电动机结合的第二压缩机。

8. 根据权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述电动机包括频率控制电路，以匹配所述第一压缩机和第二压缩机的可变功率需求。

9. 一种系统，包括：

第一多级离心式压缩机，其构造成将压缩气流导入限定压缩气体流动通路的压力容器；

联接到所述压力容器上的热交换器，其构造成冷却所述压缩气体并提供冷却的压缩气体；

电动机，其被容纳在所述压力容器内并机械地联接到所述第一多级离心式压缩机上，其中所述电动机构造成与所述冷却的压缩气体的至少一部分相接触；以及

第二多级离心式压缩机，其机械地联接到被容纳在所述压力容器内并构造成由所述冷却的压缩气体的至少一部分接触的电动机上，其中所述第二多级离心式压缩机构造成压缩

所述冷却的压缩气体。

10. 根据权利要求 9 所述的系统，其特征在于，所述电动机包括包围所述电动机的定子的封装单元，其中所述封装单元包括密封罐。

用于酸性气体压缩的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及一种电机－压缩机系统，更具体地涉及一种用于酸性气体压缩的电机－压缩机系统。

背景技术

[0002] 典型地，从天然气储器提取的气体含有高浓度的甲烷（CH_4），即天然气的主要烃组分，并且还含有相当大浓度的硫化氢（H_2S）和二氧化碳（CO_2）气体。净化所提取的天然气以获得比较纯净的CH_4，其可通过管道输送以便民用和工业使用。天然气净化过程的主要副产品为酸性气体，该酸性气体主要包括H_2S和CO_2的混合物以及不定量的水分。标准工业实践已将酸性气体混合物转化为元素硫、固体、气态CO_2和水。元素硫被储存以便后续使用或处置而CO_2被废弃到大气中。然而，此类标准工业实践提出了与巨量可燃元素硫（一种在点燃的情况下存在严重环境风险的物质）的产生、储存和处置有关的挑战。所提到的标准工业实践还导致大量CO_2排放到大气中，使得从业者在某些地区受到谴责。用于处理副产品酸性气体的备选方案包括将酸性气体混合物重注回到适当的地下地质结构如废弃天然气储器中。

[0003] 酸性气体重注过程需要压缩机来提供所需的输送压力以迫使酸性气体混合物进入该适当的地下地质结构。典型地，用于该目的的压缩机是工作压力在100到200巴范围内的多级离心式压缩机。此类高压力需要高功率，且因此使用高速电动机来驱动这些压缩机。然而，这种类型的高速电动机典型地产生大量热量，必须对该热量进行管理以防止损坏电机本身和压缩机系统的其它受影响的构件。传统上，已使用几种类型的冷却系统来冷却高速电动机。例如，可使用过程气体本身或其组分来冷却与作用在过程气体上的压缩机相关的高速电动机。然而，此类冷却系统的效率倾向于受诸如风阻损失之类的因素影响。

[0004] 在酸性气体重注操作中，必须在重注之前压缩的气体混合物由于典型地占高达混合物的25％到65％之间的高浓度H_2S而很危险。尽管H_2S由于丰富的非人为资源（例如，细菌、热泉、火山和温泉）而在自然界中无处不在，但是它在较高的浓度下比较有毒性。大规模的酸性气体重注包括在高压下处理大量硫化氢并且必须采取充足的预防措施来避免酸性气体混合物意外释放到大气中，从而避免对重注设备操作员和环境造成危险。因此，需要用于酸性气体压缩的新型、可靠和更安全的系统。

[0005] 因此，本发明提供了与酸性气体重注相关的这些和其它挑战的多个解决方案。一方面，本发明提供了用于将一个或更多高速电动机与一个或多个可用于酸性气体压缩的压缩机一体化的专用电机－压缩机系统。

发明内容

[0006] 在一个实施例中，本发明提供了一种用于压缩酸性气体混合物的方法，所述方法包括：(a) 压缩包含硫化氢和二氧化碳的气体混合物，以在处于从约5巴至约20巴的范围内的第一压力下提供压缩气体混合物，所述压缩气体混合物包含从约10到约95体积百分

比的硫化氢和从约 90 到约 5 体积百分比的二氧化碳，所述硫化氢和所述二氧化碳共同以对应于压缩气体混合物的总重量的从约 90 到约 100 重量百分比的量存在，所述压缩在第一压缩机中执行，所述第一压缩机联接到构造成接收压缩气体混合物的压力容器上；(b) 将在步骤 (a) 中形成的压缩气体混合物冷却到处于从约 20℃到约 50℃的范围内的温度，以提供冷却的压缩气体混合物；以及 (c) 使冷却的压缩气体混合物的至少一部分与第一电动机接触，所述第一电动机被容纳在所述压力容器内，所述第一电动机机械地联接到所述第一压缩机上。

[0007] 在一个备选实施例中，本发明提供了一种系统，该系统包括：第一压缩机；构造成接收来自第一压缩机的压缩气体的压力容器；联接到压力容器上的热交换器，该热交换器构造成冷却压缩气体并提供冷却的压缩气体；以及被容纳在压力容器内的电动机，其中该电动机机械联接到第一压缩机上，并且其中该压力容器构造成接收来自热交换器并接触电动机的冷却的压缩气体的至少一部分。

[0008] 在又另一实施例中，本发明提供了一种系统，该系统包括：第一多级离心式压缩机，其构造成将压缩气流导入限定压缩气体流动通路的压力容器中；联接到压力容器上的热交换器，其构造成冷却压缩气体并提供冷却的压缩气体；电动机，其被容纳在压力容器内并机械地联接到第一多级离心式压缩机上，其中该电动机构造成与冷却的压缩气体的至少一部分相接触；以及第二多级离心式压缩机，其机械地联接到被容纳在压力容器内的电动机并构造成与冷却的压缩气体的至少一部分相接触，其中第二多级离心式压缩机构造成压缩冷却的压缩气体。

[0009] 根据以下详细说明、附图和所附权利要求，本发明的其它实施例、方面、特征和优点对本领域的技术人员来说将变得显而易见。

附图说明

[0010] 当参考附图阅读以下详细描述时，本发明的这些和其它特征、方面和优点将变得更好理解，全部附图中同样的附图标记代表同样的零件，其中：

[0011] 图 1 示出了以被容纳在压力容器内并机械地联接到压缩机上的电动机为特征的本发明的一个实施例；

[0012] 图 2 是根据本发明的一个说明性的实施例的具有机械地联接到两个压缩机上的单个高速电动机的电机 - 压缩机系统的示意图；

[0013] 图 3 是根据本发明的一个说明性的实施例的具有均机械地联接到单独的压缩机上的两个高速电动机的电机 - 压缩机系统的示意图；

[0014] 图 4A 是图 2 或图 3 中所示的整个压缩过程的温度对熵的曲线图；

[0015] 图 4B 是图 2 或图 3 中所示的整个气体压缩过程的温度对压力的曲线图；以及

[0016] 图 5 是示出了根据本发明的一个说明性的实施例的用于实现电动机的有效冷却的方法的流程图。

[0017] 附图本身并未按比例绘制并且图中示出的构件的实际相对尺寸可能与在此所示的不同。

[0018] 零部件清单

[0019] 100 电机 - 压缩机系统

[0020] 102 电动机

[0021] 104 第二压缩机

[0022] 106 压力容器的壳体

[0023] 108 电动机的定子

[0024] 110 电动机的转子

[0025] 112 驱动轴

[0026] 112a 转子 / 驱动轴组合的端部

[0027] 112b 转子 / 驱动轴组合的相对端

[0028] 114a 电动机的磁性轴承

[0029] 114b 电动机的磁性轴承

[0030] 116 联接元件

[0031] 118 第二压缩机 104 的转子

[0032] 120a/b 与第二压缩机相关的磁性轴承

[0033] 122 定子封装单元

[0034] 124 转子防腐蚀涂层

[0035] 200 电机 - 压缩机系统

[0036] 204a 第一压缩机

[0037] 204b 第二压缩机

[0038] 206 磁性轴承

[0039] 208 第一压缩机的进口

[0040] 210 第二压缩机的出口

[0041] 211 将压力容器 106 与热交换器 212/308 连结的导管

[0042] 212 联接到压力容器 106 上的热交换器

[0043] 213 气体返回导管

[0044] 214 旁通导管

[0045] 300 电机 - 压缩机系统

[0046] 302 第一高速电动机

[0047] 304 第二高速电动机

[0048] 306a 联接到电机 302 上的第一压缩机

[0049] 306b 联接到电机 304 上的第二压缩机

[0050] 308 热交换器

[0051] 309 返回导管

[0052] 310 旁通导管

[0053] 400 整个酸性气体压缩过程（的温度对熵的曲线图）

[0054] 400 整个酸性气体压缩过程（的温度对压力的曲线图）

[0055] 500 （用于实现安放在第一压缩机和第二压缩机之间的电动机的有效冷却的）方法

[0056] 504 方法步骤（方法的方框）

[0057] 506 方法步骤（方法的方框）

具体实施方式

[0058] 本发明提供了特别是用于压缩酸性气体混合物的用于气体压缩的方法和系统。起初，应当注意的是，用于重注的需要压缩的酸性气体混合物典型地是含有大量硫化氢的高毒性气体混合物。此外，实现酸性气体混合物有效地重注到深而可靠的地质结构中所需的压力被充分提高，从而需要严格的措施来防止由地表重注单元处理的酸性气体的意外释放。典型地，酸性气体重注单元包括由高速电动机驱动的一系列压缩机。一方面，本发明通过将用于驱动气体压缩机的高速电机定位在构造成接收来自压缩机的压缩酸性气体的压力容器内部来满足控制和消除过程气体从酸性气体重注单元逸出的需要。此类构造减少了对电机和压缩机之间的密封件的依赖性，因为跨越任何此类密封件的泄漏将发生在压力容器本身的界限内。将高速电机结合在压力容器内的一个缺点在于由压缩机产生并被导入压力容器的压缩气体比较热并且对典型的高速电动机的各种构件有腐蚀性。如在阅读本公开内容后对本领域的普通技术人员来说将显而易见的那样，本发明提供了新颖的系统和方法，其减少了对压缩机与其驱动电机之间的密封件的依赖性同时保护驱动电机免于被处理的酸性气体的腐蚀效应。

[0059] 高速电动机在工作期间产生大量热量，并且当设置在被限定的空间内时典型地设有冷却系统以防止由于高工作温度而损坏电机。电动机安放在压力容器内在防止气体泄漏方面提供了明显优点的同时在控制电动机在运行期间的温度方面提出了另外的挑战。可将外部冷却系统与压力容器整合，但该特征将增加系统的附加成本和复杂性。本发明满足冷却设置在压力容器内的高速电动机的需要并在合适的处理之后使用过程气体本身来冷却高速电动机。

[0060] 如上所述，第一压缩机由设置在压力容器本身内（也称为“被容纳在...内”）的高速电动机驱动。该电动机构造成驱动第一压缩机并且据称机械地联接到第一压缩机上。如文中所用，术语“机械地联接”在其含义内包括联接的构件可通过旋转第一联接的构件并由此实现第二联接的构件的旋转而共同旋转的状态。另外，术语“机械地联接”包括其中两个或更多个构件构造成用于联接但实际上未互相联接的状态，如如下情况这样：其中驱动轴 112（参见例如图 2）的端部由第一组联接元件固定螺丝固定在联接元件 116 的第一部分内，并且转子 118 的端部设置在具有第二组联接元件固定螺丝的同一联接元件 116 的第二部分内，固定螺丝构造成被拧紧以便将转子 118 的端部固定在联接元件 116 的第二部分内。然而，第二组联接元件固定螺丝尚未被拧紧，并且转子 118 的端部可在联接元件 116 的第二部分内自由旋转而不会导致联接元件 116 或驱动轴 112 旋转。术语“机械地联接”因此包括其中驱动轴 112 和转子 118 构造成通过可分离的联接元件 116 联接并且联接元件已被移除的构造。在一个实施例中，第一压缩机的转子机械地联接到电动机的转子上。在此示出了各种类型的机械联接件；参见例如图 2 和图 3。设置在压力容器内的电动机典型地是以从每分钟约 3000 到约 15000 转 (rpm) 的转速工作的高速电动机。在一个实施例中，该高速电动机为永磁电动机。在一个实施例中，第一压缩机为多级离心式压缩机。

[0061] 在本发明的各个实施例中，由联接到压力容器上的第一压缩机产生的压缩气体混合物经在压力容器内限定的流动通路被引导到热交换器，其中压缩气体被冷却以提供冷却的压缩气体。热交换器的另一功能是从压缩气体去除水分。本领域的普通技术人员应该理

解的是，诸如酸性气体之类的气体混合物在存在水分的情况下尤其有腐蚀性。因此，在一个实施例中，该热交换器包括压缩气体冷却单元和单独的除水单元。在一个备选实施例中，热交换器包括冷却压缩气体同时从其去除水的单一结构。在本发明的各个实施例中，热交换器用于处理基本上所有由第一压缩机产生的压缩气体，并且转而产生大致无水的冷却的压缩气体。从热交换器出现的冷却的压缩气体的特征在于与由第一压缩机产生的压缩气体大致相同的压力（从约 5 巴到约 20 巴），但具有比由第一压缩机产生的压缩气体冷得多的温度。在一个实施例中，冷却的压缩气体具有处于从约 20℃到约 50℃的范围内的温度。热交换器可位于压力容器内或压力容器外部。在任一构造中，热交换器均形成用于被处理的气体的气体流动通路的一部分。

[0062] 冷却的压缩气体的至少一部分然后与设置在压力容器内的电动机形成接触。电动机位于由压力容器限定的气体流动通路内并且冷却的压缩气体的至少一部分沿着该流动通路被引导且与电动机相接触。在各个实施例中，接触电动机的冷却的压缩气体的流动方向和质量可由风扇控制，该风扇可远离电动机、附接到电动机上或结合在电动机内。冷却的压缩气体接触电动机的各种构件并从它们去除热量。已从电动机吸收热量的冷却的压缩气体然后进一步沿由压力容器限定的流动通路前移并与电动机脱离接触。

[0063] 在本发明的各个实施例中，冷却的压缩气体的仅一部分接触电动机并且其余的冷却的压缩气体通过备选流动通路被引导到在电动机下游的压力容器内的位置，参见例如图 2 中所示的区域 4，此处它与已接触电动机的冷却的压缩气体重新结合。从热交换器输出的重新结合的冷却的压缩气体然后被进一步压缩到适合于将酸性气体有效地重注到可靠的地质结构内的压力。在一个实施例中，进一步压缩从热交换器输出的重新结合的冷却的压缩气体的这一步骤提供了特征在于处于从约 60 巴到约 120 巴的范围内的压力和高达 170℃的温度的更多压缩气体。在一个实施例中，使用由用于驱动第一压缩机的同一高速电动机驱动的第二压缩机执行进一步压缩从热交换器输出的重新结合的冷却的压缩气体的这一步骤。因此，机械地联接到第一压缩机和第二压缩机两者上的单个第一电动机可用于驱动两个压缩机。在一个备选实施例中，同样设置在压力容器内的第二电动机机械地联接到第二压缩机上并驱动第二压缩机。在一个实施例中，第二压缩机为多级离心式压缩机。在一个备选实施例中，第一压缩机和第二压缩机两者均为多级离心式压缩机。

[0064] 如上所述，在一个实施例中，本发明提供了一种用于压缩包含硫化氢 (H_2S) 和二氧化碳 (CO_2) 的气体混合物的方法。包含硫化氢和二氧化碳的初始气体混合物由联接到压力容器上的第一压缩机压缩。关于第一压缩机，表达“联接到压力容器上”意味着第一压缩机的输出、“压缩气流”或简单而言“压缩气体混合物”被引入压力容器。据称压力容器构造成接收来自第一压缩机的压缩气体。

[0065] 典型地，被压缩的气体混合物含有从约 10 到约 95 体积百分比的硫化氢和从约 90 到约 5 体积百分比的二氧化碳，并且压缩气体混合物必定包含大致相同的体积百分比的硫化氢和二氧化碳。典型地，初始气体混合物或压缩气体混合物中的硫化氢和二氧化碳的量共同对应于压缩气体混合物的总重量的从约 90 到约 100 重量百分比。在一个实施例中，待压缩的气体混合物（初始气体混合物）包含从约 20 到约 70 重量百分比的硫化氢。初始气体混合物可含有水和碳氢化合物，例如甲烷、乙烷、丙烷和天然气中存在的同类气体。随着初始气体混合物从初始温度和压力（典型地从大约环境温度到约 60℃和从约 1 巴到约 2

巴）被压缩，压缩气体的温度显著升高。在一个实施例中，由第一压缩机压缩的气体混合物的温度随着压力从约 1 巴升高到约 10 巴而从约 60℃升高到约 170℃。

[0066] 在一个实施例中，第一压缩机压缩初始酸性气体混合物，以提供具有从约 60℃到约 170℃的温度和约 10 巴的压力的第一压缩气体。第一压缩气体被导入压力容器并被引导到热交换器，此处第一压缩气体被冷却到处于从约 20℃到约 50℃的范围内的温度，以提供冷却的压缩气体混合物。冷却的压缩气体混合物的至少一部分与设置在压力容器内并机械地联接到第一压缩机上的第一电动机相接触。

[0067] 图 1 是根据本发明的一个实施例与压缩机 104 结合（机械连接到其上）的电动机 102 的截面的局部视图。图 1 中所示的实施例示出了电机 - 压缩机系统 100（下文可互换地称为系统 100）的一部分，其中被容纳在压力容器 106 内的电动机 102 与压缩机 104 结合。电动机 102 位于两个压缩机之间 :位于电动机 102 的入口侧处的第一压缩机（图中未示出），以及位于电动机 102 的出口侧处的第二压缩机 104。在本发明的各个实施例中，第一压缩机和第二压缩机 104 可为单级或多级离心式压缩机。

[0068] 参照图 1，电动机 102 包括定子 108 和转子 110。在本发明的一个实施例中，转子 110 可为永磁转子，并且电动机 102 可为交流 (AC) 同步电机。在另一实施例中，AC 同步电机可以不需要励磁器。此外，转子 110 可形成驱动轴 112 的一部分，该驱动轴分别通过磁性轴承 114a 和 114b 在两端（即第一端 112a 和第二端 112b）处可旋转地轴颈连接。这些磁性轴承通过最小化在延长的时间期间运行的旋转轴的磨损而减少功率损失。驱动轴 112 还经由联接元件 116 纵向连接到第二压缩机 104 的转子 118 上。转子 118 在磁性轴承 120a 和 120b 内可旋转地轴颈连接。

[0069] 在电机 - 压缩机系统 100 的非稳态工作期间，例如在快速启动和加载运行期间，系统 100 的不同构件经历不同级别的振动。因此，系统 100 的不同构件，例如，第二压缩机 104 和电动机 102，存在相对于彼此歪斜的旋转轴线，并因此在联接元件 116 中产生弯曲力矩。在本发明的一个实施例中，联接元件 116 可包括 Hirth 联接元件或刚性联接元件中的一个，以使联接元件 116 纵向上刚性并且能够吸纳弯曲力矩。在一个实施例中，Hirth 联接或刚性联接被设计成使得所有锯齿状突起被精密地加工成具有朝向轴的中心线的方位，使得单独的轴在纵向上刚性并且能够相对于彼此以自动定心的方式自由地径向旋转。因此，转子 118 和驱动轴 112 在运行期间都不会过度承压。另外，Hirth 或刚性联接元件比轴向柔性的联接元件装配和拆卸容易得多。除涉及电动机 102 与第二压缩机 104 的灵活整合的设计方面外，系统 100 的构造还必须具有设计鲁棒性，以处理与系统 100 的各种构件相接触的酸性气体混合物的磨蚀性质。

[0070] 被处理的酸性气体混合物中存在 H_2S 对可用于电动机 102 的构件的材料提出了限制，因为许多金属对硫化物应力裂纹敏感。为了保护电动机 102 的各种构件免于气体混合物的腐蚀效应，定子 108 可被封闭在封装单元 122 中。在图 1 中所示的示例性实施例中，封装单元 122 是密封罐。类似地，也可通过将 Halbach 磁体阵列（未示出）封装在防腐蚀外壳 124 中而抵抗酸性气体混合物的腐蚀和磨蚀效应密封转子 110。在一个实施例中，Halbach 磁体阵列形成电动机 102 的转子 110 的一部分，并且是在转子 110 的一侧上扩大磁场且在另一侧上将磁场几乎抵消为零的一种特殊永磁体布置。因此，在本发明的一个实施例中，电机 - 压缩机系统 100 的构造和设计可受酸性气体混合物的组分和特性支配。此外，系统 100

的构造和设计可基于当气体混合物流经电机－压缩机系统 100 时施加于气体混合物的压力水平。

[0071] 在系统 100 用于将酸性气体重注到深而可靠的地质结构内的情况下，在地表重注单元处所需的输送压力典型地在从约 60 巴到约 200 巴的范围内，取决于与特定地质结构相关的要求。如上所述，大的输送压力典型地需要使用高速电动机。在本文公开的各个实施例中，电动机 102（下文可互换地称为高速电动机 102）以典型地在 3000-15000rpm 的范围内的极高速度旋转，以向第二压缩机 104 提供所需的功率并且在该过程中可在定子 108 的绕组中产生大量热量。因此，为了冷却定子 108 的内侧上的绕组，封装单元 122 可容纳电绝缘油（未示出）。电绝缘油不仅冷却定子 108 的内部构件，而且提供它们之间的电绝缘。即使在较高的温度下，电绝缘油也应当保持稳定，而不会在延长的工作周期中骤燃。

[0072] 电动机的定子 108 和其它构件通过流经电动机 102 的压缩酸性气体冷却。在一个实施例中，为了保护封装单元 122 免于泄漏，封装单元 122 被设计成维持电绝缘油和流经电动机 102 的压缩酸性气体之间的差压。在一个实施例中，电绝缘油被保持在略高于压缩酸性气体的压力下，使得在泄漏的情况下，电绝缘油可从封装单元 122 的内侧向外流动并因此防止 H_2S 被意外吸入封装单元 122。此外，电绝缘油的压力保护定子 108 和电气绕组免于酸性气体混合物的腐蚀和磨蚀效应。

[0073] 进一步参照图 1，在本发明的一个实施例中，容纳电动机 102 的压力容器 106 可延伸以包括整个电机－压缩机系统 100。由于要压缩的酸性气体混合物中高浓度的 H_2S，电机－压缩机系统 100 的所示出的构造的目的之一是防止酸性气体泄漏到大气中。因此，压力容器 106 封闭电动机 102 并防止通过如果压缩机系统由外部电动机驱动则会需要的密封件泄漏。在一个实施例中，由压力容器 106 从第一压缩机接收的压缩酸性气体混合物处于最佳第一压力下（即，产生通过酸性气体混合物冷却电动机 102 的最大效率的压力）。

[0074] 图 2 是根据本发明的一个说明性的示例的包括机械地联接到两个压缩机 204a 和 204b 上的单个高速电动机 102 的电机－压缩机系统 200 的示意图。在图 2 所示的示例性实施例中，电机－压缩机系统 200 包括设置成与高速电动机 102 串联流动连通的第一压缩机 204a，以及第二压缩机 204b。在该示例性实施例中，第一压缩机 204a 和第二压缩机 204b 两者均为两级离心式压缩机。在本发明的一个实施例中，第一压缩机 204a 和第二压缩机 204b 为多级离心式压缩机。第一压缩机 204a 和第二压缩机 204b 经由两个联接元件 116 机械地联接到高速电动机 102 上。高速电动机 102 的转子 110 以及第一压缩机 204a 和第二压缩机 204b 的转子 118 机械地联接到驱动轴 112 上并被支撑在多个磁性轴承 206 上。压力容器 106 容纳高速电动机 102 并维持其内部恒定的压力。优化压力使得酸性气体混合物在电动机 102 中呈现有效的冷却特性。在本发明的一个实施例中，压力容器 106 可容纳整个电机－压缩机系统 200。

[0075] 使用酸性气体混合物作为用于高速电动机 102 的冷却剂通过消除对单独的冷却系统的需要而使电机－压缩机系统 200 紧凑。这也通过减少风阻损失提高了电动机 102 中的冷却效率。当使用单独的冷却系统时风阻损失会变得明显，这是因为冷却剂需要在此类系统中连续循环。使用酸性气体混合物作为系统 200 中的冷却剂使得在不同于用于一体的电机－压缩机系统中的典型构造的构造中必须将高速电动机 102 与压缩机 204a 和 204b 一体结合。酸性气体混合物的性质因此使得需要在适合于实现设置在压力容器内的电动机

102 的最大冷却效率的第一压力和温度范围将压缩的酸性气体混合物排放到压力容器内。

[0076] 随着酸性气体混合物流经电机－压缩机系统 200，系统 200 的不同构件在压缩过程中的不同阶段作用在其上。经历压缩的气体经过从在进口 208 处提供给第一压缩机的酸性气体混合物的初始状态开始并在气体在出口 210 处离开第二压缩机的最终状态结束的一系列状态。酸性气体混合物的状态可通过混合物在压缩过程的特定阶段的压力、温度和 / 或熵确定。在稳态条件下，沿穿过电机－压缩机系统的气体流动通路的每个位置将以在稳态条件占主导的同时将保持稳定的状态为特征。尽管穿过电机－压缩机系统的气体流动通路内可能有数量很大的位置和相关状态，但可以方便地标出该气体流动通路内大致相同的压力、温度和 / 或熵的条件占主导的区域。这些区域和它们的酸性气体混合物接近状态可通过图 2、图 3、图 4A 和图 4B 所示的标号 1-5 标注。因此，标号 1-5 也可指代电机－压缩机系统内或附近的区域，其中被处理的酸性气体混合物具有特定温度、压力和熵。例如，在图 2 中所示的示例性实施例中，状态 1 指的是酸性气体混合物在第一压缩机 204a 的进口 208 处的状态且状态 5 指的是酸性气体混合物在第二压缩机 204b 的出口 210 处的状态。

[0077] 在系统 200 运行期间，酸性气体混合物从外部处理设备（图中未示出）送入电机－压缩机系统，该外部处理设备从天然气分离酸性气体混合物。进口 208 从外部处理设备接收酸性气体混合物，该酸性气体混合物以状态 1 为特征。状态 1 的压力和温度是从其获得酸性气体混合物的外部处理设备中的净化过程的典型压力和温度，并且典型地分别处于从约 1 巴到约 2 巴的范围内和大约 55℃。酸性气体混合物随后由第一压缩机 204a 压缩到以状态 2 为特征的第一压力和温度，该状态 2 大致对应于电机－压缩机系统中对应于图 2 中的区域 2 的位置。在本发明的一个实施例中，第一压力可处于从约 5 巴到约 20 巴的范围内。压缩的酸性气体混合物在由第一压缩机压缩期间获得热量并且可达到高达 170℃的温度。因此，酸性气体混合物在状态 2 中处于高于状态 1 中的压力和温度。此后，热压缩酸性气体混合物通过由压力容器限定的流动通路引导到经由导管 211 联接到压力容器 106 上的热交换器 212。在图 2 中所示的实施例中，热交换器 212 包括冷却单元和除水单元。在一个实施例中，热交换器 212 的冷却单元将热压缩的酸性气体混合物从状态 2 下的大约 170℃的温度冷却到在状态 3/ 区域 3 中的从约 20℃到约 50℃的范围内的温度。除水单元去除酸性气体混合物中存在的水分。从酸性气体混合物去除水分减少了酸性气体混合物对高速电动机 102 和电机－压缩机系统 200 的其它构件的腐蚀。因此，酸性气体混合物以适当冷的温度接触电动机 102 以便有效地冷却电动机。另外，由于已从酸性气体混合物去除水，极大地减少了水分在电动机 102 内部凝结的可能性。典型地，经过热交换器的酸性气体的第一部分经由气体返回导管 213 被引导到电动机 102。通过返回导管返回的酸性气体与位于区域 3 中的电机 102 相接触并由此用于冷却该电机。酸性气体的第二部分可经过旁通导管 214 并进入位于区域 4 中的第二压缩机 204b 的进口侧。

[0078] 如上所述，在一个实施例中，在由热交换器 212 冷却之后，此时以状态 3 为特征的酸性气体混合物在处于从约 5 巴到约 20 巴的范围内的压力和处于从约 20℃到约 50℃的范围内的温度下接触电动机 102。电动机 102 的被封装的定子 108 和转子 110 及其它构件由可在被封装的定子 108 和转子 110 周围被引导的酸性气体混合物冷却。可控制压力容器内部的压力以保证由酸性气体混合物对电动机 102 进行最有效的冷却。如上所述，酸性气体混合物中存在的二氧化碳的浓度能按酸性气体混合物的体积计算从约 5％到约 90％变化。通

常，气态二氧化碳是不良散热介质并且因此酸性气体从电动机散热的效力可与酸性气体中二氧化碳的浓度成反比地变化。然而，通过对与电动机相接触的酸性气体混合物进行温度和压力控制，可针对特定的酸性气体组分优化酸性气体混合物的散热能力 / 冷却效力。可将电动机 120 中的冷却效率定义为由酸性气体混合物从电动机 120 提取的热量与第一压缩机级 204a 对酸性气体混合物所做的功的比值。对于酸性气体重注操作中遇到的大部分酸性气体混合物而言，可在处于从约 5 巴到约 20 巴的范围内的压力和在从约 20℃到约 50℃的范围内的温度下实现酸性气体混合物中存在的二氧化碳的不良散热能力和第一压缩机 204a 所做的功之间的良好折衷。因此，在整体式电机 - 压缩机系统 200 的构造中，可操作第一压缩机 204a 以在对于以最大效率实现电动机 102 的冷却来说最优的压力下提供第一压缩气体。如本领域的普通技术人员应该理解的那样，热交换器可构造和操作以提供具有处于期望的温度范围内的温度的冷却的压缩气体。

[0079] 冷却的压缩气体在其冷却电动机时吸收热量并且此后进入区域 4，此处它与经由旁通导管 214 进入区域 4 的冷却的压缩气体重新结合。区域 4 中的冷却的压缩气体以状态 4 为特征，其中在所示的实施例中，压力为大约 10 巴且温度为大约 45℃。区域 4 中冷却的压缩气体然后被第二压缩机 204b 进一步压缩。在电机 - 压缩机 200 的出口 210 处离开第二压缩机 204b 的压缩的酸性气体混合物以最终状态 5 为特征，其中在所示的实施例中，压力处于从约 60 巴到约 200 巴的范围内，并且其中温度为大约 170℃。

[0080] 典型的酸性气体重注操作包括压缩大量酸性气体并且以高功率需求为特征。典型地，电机 - 压缩机系统中的压缩机所需的功率随着流经压缩机的酸性气体混合物的质量流速的立方变化。因此，质量流速的较小变化可显著改变功率需求。为了满足电机 - 压缩机系统 200 中变化的功率需求，高速电动机 102 可构造成以比较高的效率驱动压缩机 204a 和 204b。因此，高速电动机 102 可为频率控制电路（图中未示出）的一部分，以匹配压缩机 204a 和 204b 的可变功率需求。典型地，电机驱动式系统被设计成以内建的附加安全系数处理峰值负荷。这常常引起以降低的负荷长时间工作的系统低效地使用能量。调节电机速度的能力使得电机输出能够与负荷更接近地匹配并节省能量。在本示例性实施例中，可通过改变电机供应电压的频率来改变高速电动机 102 的工作速度，从而允许在更宽的速度范围上进行精确和连续的过程控制。在本发明的一个实施例中，高速电动机 102 被设计成提供 15MW 的功率。在需要更多功率的应用中，可以使用超过一个高速电动机 102。此类构造在下面对图 3 的讨论中详述。

[0081] 图 3 是根据本发明的一个说明性的实施例的包括分别机械地联接到压缩机 306a 和 306b 上的两个高速电动机 302 和 304 的电机 - 压缩机系统 300 的示意图。在图 3 中所示的示例性实施例中，电机 - 压缩机系统 300 包括与第一高速电动机 302 串联流动连通的第一压缩机 306a，使得由第一压缩机压缩的气体的至少一部分在由热交换器 308 进行适当处理后接触电机。据称第二压缩机 306b 与第二高速电动机 304 串联流动连通。

[0082] 仍参照图 3，由压力容器 106 和电机 - 压缩机系统 300 的相关构件（导管 211、热交换器 308、返回导管 309、旁通导管 310）限定的气体流动通路由在第一压缩机 306a 的进口 208 处开始、穿越第一压缩机、在区域 2 中被引导到通向热交换器 308 的导管 211 的箭头示出。由热交换器处理的冷却的压缩气体经由返回导管 309 回到压力容器 106 的区域 3，此处压缩气体接触第一电动机 302 和第二电动机 304。已接触两个电动机的冷却的压缩气

体进入区域 4，此处它与经由旁通导管 310 进入区域 4 的冷却的压缩气体重新结合。区域 4 中的气体混合物以状态 4 为特征，其中气体温度由于从电动机 302 和 304 去除的热量而相对于区域 3 中的温度略微升高（本例中为 45℃）。以状态 4 为特征的气体混合物然后由第二压缩机 306b 进一步压缩并在状态 5 中在第二压缩机的出口 210 处离开电机 - 压缩机系统 300。

[0083] 在一个实施例中，第一压缩机 306a 和第二压缩机 306b 可为单级或多级离心式压缩机。在图 3 中所示的示例性实施例中，第一压缩机 306a 可为两级离心式压缩机，而第二压缩机 306b 可为三级离心式压缩机。第一压缩机 306a 和第二压缩机 306b 可通过刚性或柔性联接元件 116 分别联接到第一高速电动机 302 和第二高速电动机 304 上。然而，在图 3 中所示的实施例中，第一电动机 302 的转子未联接到第二电动机 304 的转子上。此构造允许第一压缩机 306a 和第二压缩机 306b 以不同的速度运行。在图 3 中所示的示例性实施例中，第一电动机 302 和第二电动机 304 两者均可配备有频率控制电路（图中未示出）并因此能够分别满足第一压缩机 306a 和第二压缩机 306b 的变化的功率需求，从而导致显著节省能量。此外，在图 3 中所示的实施例中，由于第一电动机 302 和第二电动机 304 的转子之间不存在联接，可需要数量更少的磁性轴承来支撑转子。因此，据信图 3 中所示的示例性实施例代表应对电机 - 压缩机系统 300 的高功率需求的低成本和高能效的架构。电机 - 压缩机系统 300 的运行类似于电机 - 压缩机系统 200，其中第一压缩机 306a 将酸性气体混合物压缩到处于适当压力范围内的第一压力以便实现电动机 302 和 304 的最佳冷却效率。初始酸性气体混合物在由第一压缩机 306a 压缩时加热并随后经过经由导管 211、309 联接到压力容器 106 上的热交换器 308。热交换器 308 冷却压缩的酸性气体混合物并且还从酸性气体混合物去除水分。由热交换器 308 处理的冷却的压缩酸性气体的一部分然后经由返回导管 309 回到压力容器 106 并在被排放到区域 4 中的第二压缩机 306b 的进口侧之前接触电动机 302 和 304。酸性气体混合物然后由第二压缩机 306b 进一步压缩。压缩的酸性气体混合物经由出口 210 离开电机 - 压缩机系统 300，并且其中，在一个实施例中，离开系统的酸性气体以状态 5 特征，其中温度可高达 170℃并且压力处于从约 60 巴到约 200 巴的范围内。

[0084] 在一个备选实施例中，类似于图 3 所示，热交换器 308 可设置在压力容器 106 内。在本实施例中，经过热交换器 308 的酸性气体的一部分也接触各电动机 302 和 304，最初接触电动机 302 的气体以状态 3（即，约 40℃的温度和约 10 巴的压力）为特征。酸性气体的其余部分可经由旁通导管 310（或不使气体与电动机 302 和 304 相接触的其它备选流动通路）被引导到第二压缩机 306b 的进口侧。

[0085] 图 4A 是在诸如 200（图 2）或 300（图 3）的电机 - 压缩机系统中执行的酸性气体压缩过程 400 的温度对熵的曲线图。在图 4a 中，与整个压缩过程的各个阶段相关的熵和温度作为相对值给出且并非旨在以任何方式限制所示过程的范围。相对温度被绘制在竖直轴线上且相对熵被绘制在水平轴线上。整个压缩过程可由酸性气体混合物的状态限定并且图 4a 中标识的状态 1-5 对应于图 2 和图 3 所示的状态 1-5，其中状态 1 指的是酸性气体混合物在电机 - 压缩机系统的进口 208 处的状态；状态 5 指的是酸性气体混合物在电机 - 压缩机系统的出口 210 处的状态；并且状态 2、3 和 4 指的是酸性气体混合物在电机 - 压缩机系统内部的中间状态。

[0086] 如果当检查图 4A 中所示的曲线时参考图 2，则酸性气体混合物从具有 55℃的温度

的状态 1 开始。酸性气体混合物然后由第一压缩机 204a 等熵地从状态 1(T = 55℃) 压缩到状态 2(T = 170℃),该状态 2 具有相同的熵但更高的温度。然后,压缩的酸性气体混合物被引导到热交换器 212,此处混合物被恒压地从状态 2(T = 170℃) 冷却到状态 3(T = 40℃)。状态 3 具有更高的熵但具有低于在状态 2 下的温度。具有状态 3 的冷却的压缩气体混合物随后与电动机 102 相接触。酸性气体混合物接近恒压地冷却电动机 102 并达到状态 4(T = 45℃),该状态 4 具有比状态 3 更高的温度和更高的熵。混合物随后被供给第二压缩机 204b,此处酸性气体混合物被等熵地压缩到最终状态 5(T = 170℃),该状态 5 具有相同的熵但具有高于状态 4 的温度。

[0087] 图 4B 是在诸如 200(图 2) 或 300(图 3) 的电机 - 压缩机系统中执行的图 4A 中所示的同一酸性气体压缩过程 400 的温度对压力的曲线图。在图 4B 中,与整个压缩过程的各个阶段相关的压力和温度作为相对值给出且并非旨在以任何方式限制所示过程的范围。相对温度被绘制在竖直轴线上且相对压力被绘制在水平轴线上。整个压缩过程可由酸性气体混合物的状态确定并且图 4B 中标识的状态 1-5 对应于图 2 和图 3 所示的状态 1-5,其中状态 1 指的是酸性气体混合物在电机 - 压缩机系统的进口 208 处的状态 ;状态 5 指的是酸性气体混合物在电机 - 压缩机系统的出口 210 处的状态 ;而状态 2、3 和 4 指的是酸性气体混合物在电机 - 压缩机系统内部的中间状态。

[0088] 如果检查图 4B 中所示的曲线时参考图 2,则酸性气体混合物的压缩在状态 1 开始 (P = 1-2 巴,T = 55℃)。酸性气体混合物然后由第一压缩机 204a 等熵地压缩到状态 2(P = 10 巴, T = 170℃)。压缩的酸性气体混合物然后被引导到热交换器 212,其中混合物被恒压地从状态 2(P = 10 巴, T = 170℃) 冷却到状态 3(P = 10 巴, T = 40℃)。冷却的压缩酸性气体混合物随后经过电动机 102。酸性气体混合物接近恒压地冷却电动机 102 并达到状态 4(P = 10 巴, T = 45℃)。混合物随后被供给第二压缩机 204b,此处酸性气体混合物被等熵地压缩到最终状态 5(P = 60-200 巴, T = 170℃)。

[0089] 图 5 是示出了根据本发明的一个说明性的实施例的用于实现用于驱动如图 2 中构造的电机 - 压缩机系统中的第一压缩机和第二压缩机的电动机的有效冷却的方法 500 的流程图。

[0090] 方法 500 始于方框 502,其中将包含硫化氢和二氧化碳的初始酸性气体混合物压缩到第一压力。通过第一压缩机将包含从约 10 到约 95 体积百分比的硫化氢和从约 90 到约 5 体积百分比的二氧化碳的酸性气体混合物等熵地压缩到处于从约 5 巴到约 20 巴的范围内的第一压力。当酸性气体在处于从约 5 巴到约 20 巴的范围内的压力下与电动机相接触时可实现酸性气体混合物对电动机的最大冷却效率。因此,第一压缩机向酸性气体混合物提供了所需的输送压力以便有效地冷却用于驱动第一压缩机的电动机。继在方框 502 将酸性气体混合物压缩到最佳压力范围之后,执行对应于方框 504 的方法步骤。

[0091] 在方框 504,将在方框 502 形成的压缩气体混合物冷却到处于从约 20℃到约 50℃的范围内的温度。引导在方框 502 压缩的气体混合物通过热交换器。该热交换器可包括两个单元 :将热压缩酸性气体混合物冷却到处于从约 20℃到约 50℃的大致范围内的温度的冷却单元,和从热压缩酸性气体混合物去除水分的除水单元。冷却过程和除水过程两者均恒压地进行并且得到的冷却的压缩气体在处于从约 5 巴到约 20 巴的范围内的压力下从热交换器出现。将热压缩酸性气体混合物冷却到 20℃ -50℃的大致温度范围提高了电动机中

的冷却的压缩气体的冷却效率，同时从酸性气体混合物去除水分使得酸性气体混合物的腐蚀性更低。

[0092] 在方框 506 中，冷却气体混合物的至少一部分与电动机相接触。随着冷却的压缩酸性气体混合物与电动机相接触，可能出现风阻损失。通过限制接触电动机的构件的冷却的压缩气体的量，可以控制并最小化风速损失。当在处于从约 20℃到约 50℃的范围内的温度下在恒压条件下执行冷却的压缩酸性气体混合物和电动机之间的接触时，能够实现电动机风阻损失和电动机冷却之间的合理平衡。

[0093] 本申请中公开的电机 - 压缩机系统特别地构造成压缩酸性气体混合物并且还使用压缩的酸性气体混合物作为用于冷却电机的冷却剂。与其不良散热能力相联系的酸性气体混合物的腐蚀性使得现有的电机 - 压缩机构造难以实现高冷却效率。本文公开的电机 - 压缩机系统使得能够实现在获得冷却的压缩气体混合物的最佳状态的天然气净化方法期间产生的酸性气体混合物的安全而有效的处理，可在该最佳状态下实现气体混合物对电动机的最大冷却效率。此外，使用压力容器来包围电动机防止了酸性气体混合物泄漏的任何可能性，尽管该过程中包含高压力。

[0094] 对本领域的技术人员来说将显而易见的是，在以上实施例中给出的值范围仅出于举例的目的且并非旨在限制或偏离本发明的范围。

[0095] 尽管已结合目前被认为最实用且不同的实施例对本发明进行了描述，但应该理解的是，本发明并不限于所披露的实施例，而是相反地旨在涵盖被包括在所附权利要求的精神范围内的各种变型和等效设置。

[0096] 此书面描述使用了包括最佳模式在内的实例来公开本发明，并且还使本领域的任何技术人员能够实施本发明，包括制造并利用任何装置或系统并且执行任何所结合的方法。本发明可取得专利权的范围在权利要求中限定，并且可包括本领域的技术人员可想到的其它实例。如果此类其它实例没有不同于权利要求的文字语言所描述的结构元件，或者它们包括与权利要求的文字语言无实质性区别的等同结构元件，则认为此类其它实例包含在权利要求的保护范围内。

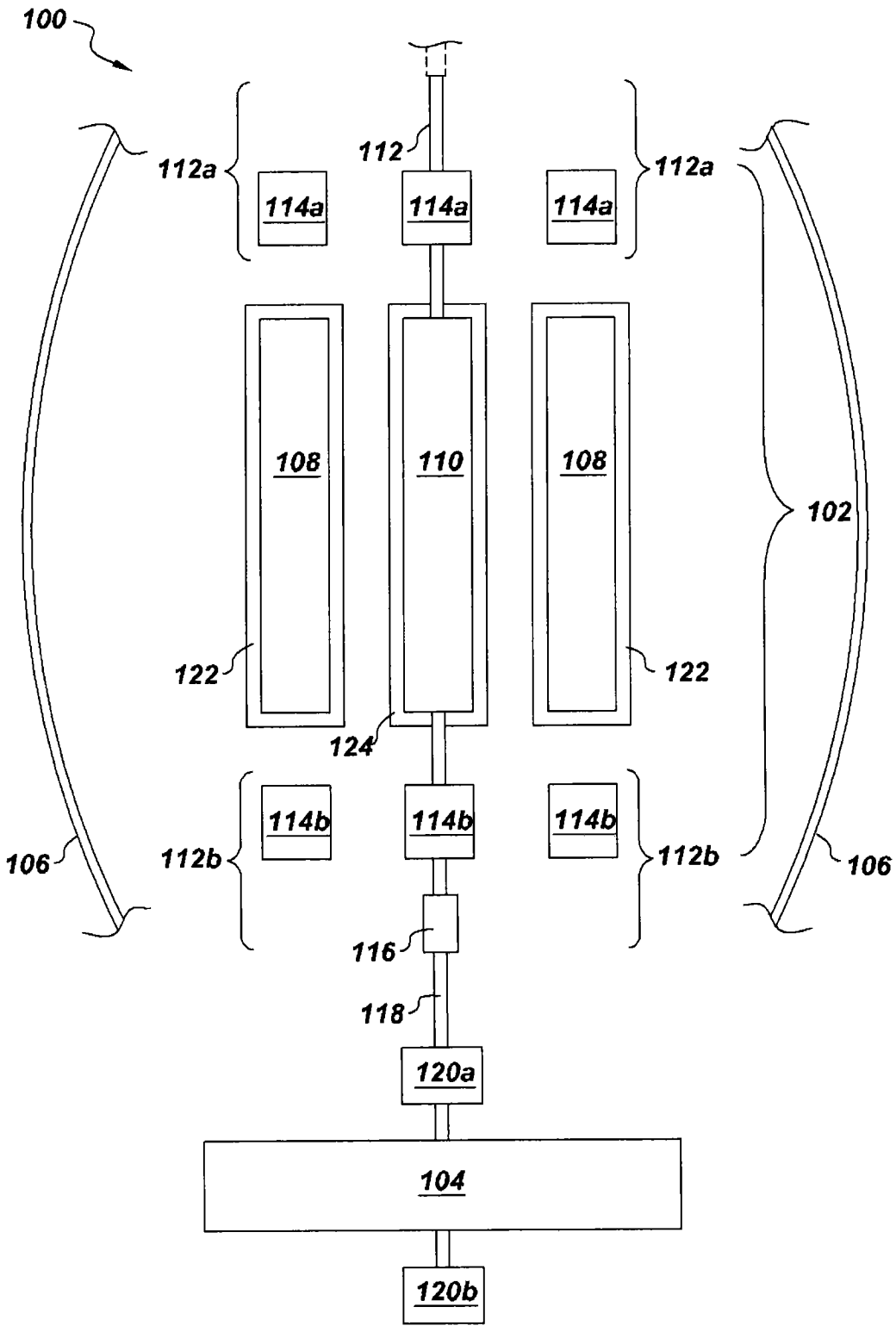

100
112a
112
112a
114a
114a
114a
108
110
108
102
122
122
124
114b
114b
114b
112b
112b
106
106
116
118
120a
104
120b

图 1

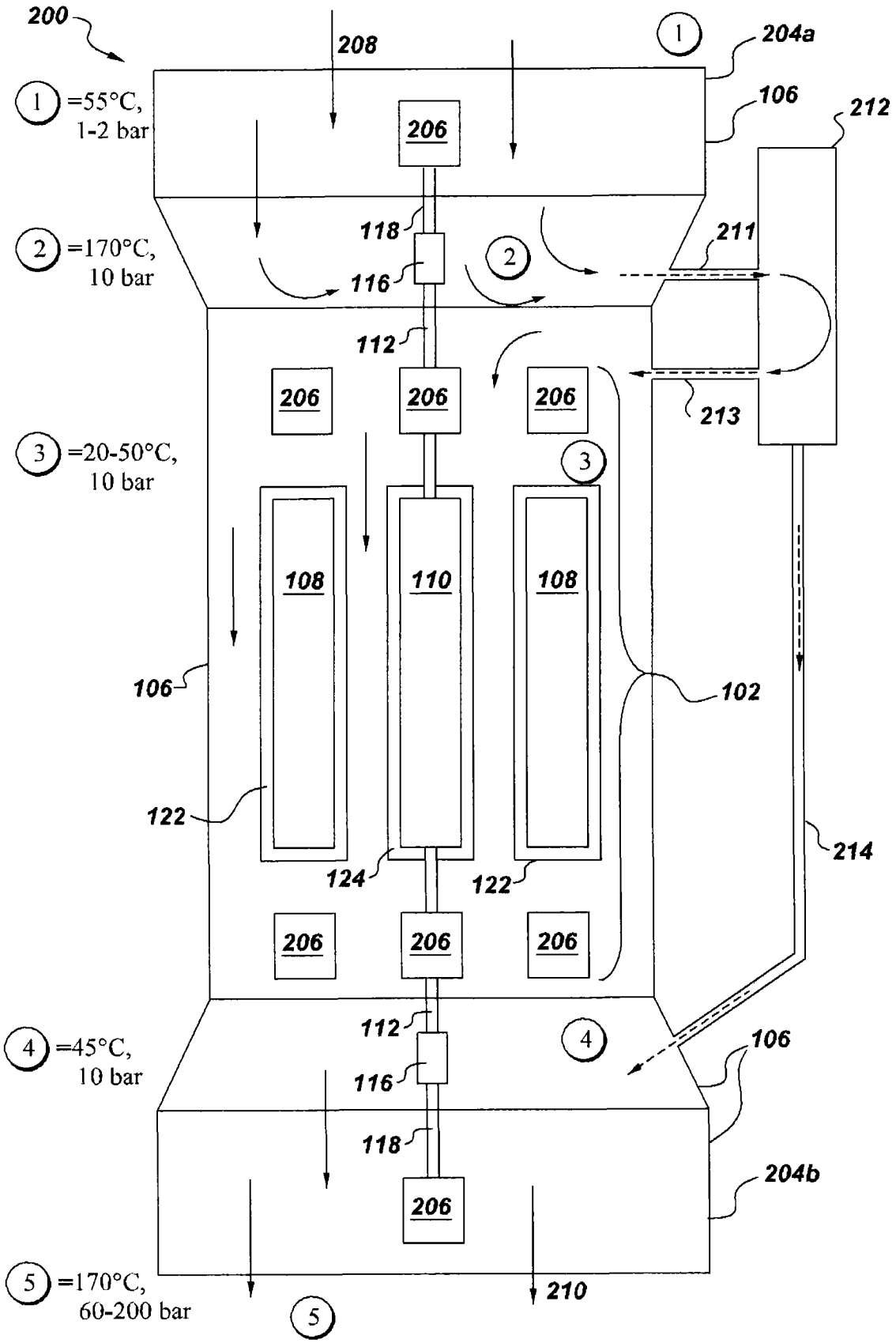

200
208
1
204a
1 =55°C, 1-2 bar
106
212
206
118
211
2 =170°C, 10 bar
2
116
112
206
206
206
213
3 =20-50°C, 10 bar
3
108
110
108
106
102
122
214
124
122
206
206
206
112
4
106
4 =45°C, 10 bar
116
118
204b
206
5 =170°C, 60-200 bar
210
5

图 2

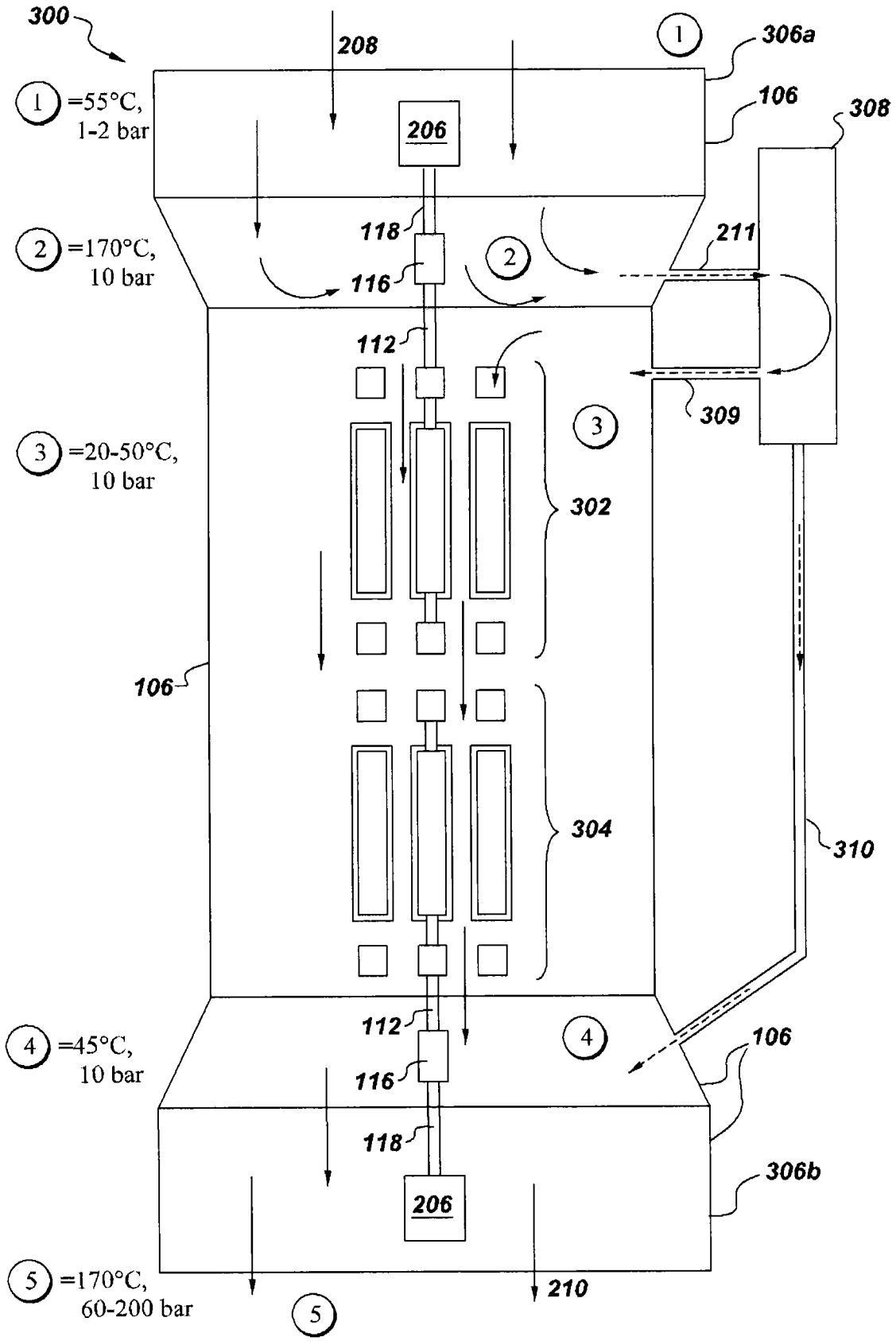

300
208
1
306a
106
308
1 =55°C, 1-2 bar
206
118
211
2 =170°C, 10 bar
116
2
112
309
3
3 =20-50°C, 10 bar
302
106
304
310
112
4
106
4 =45°C, 10 bar
116
118
306b
206
5 =170°C, 60-200 bar
210
5

图 3

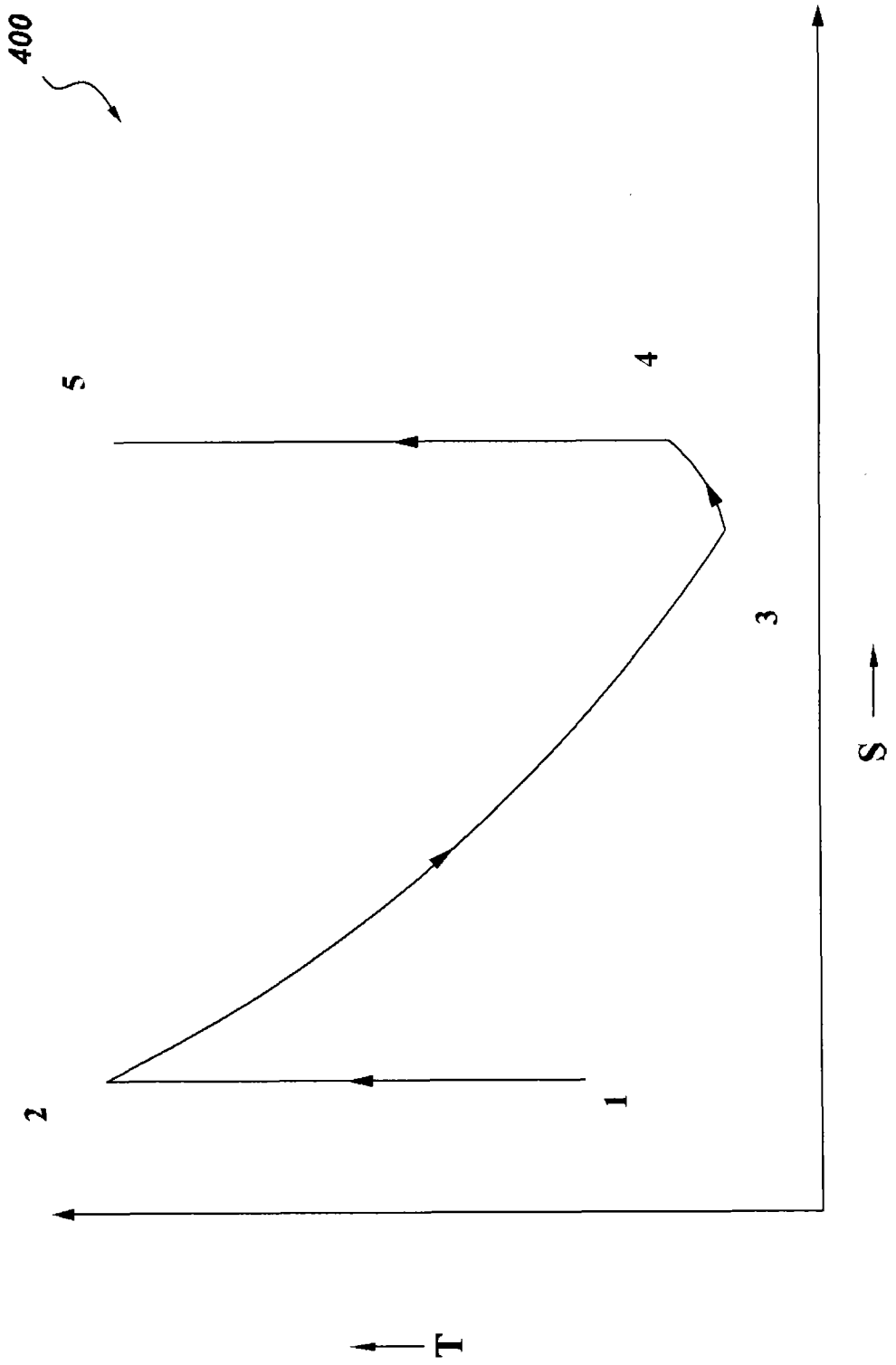


图 4A

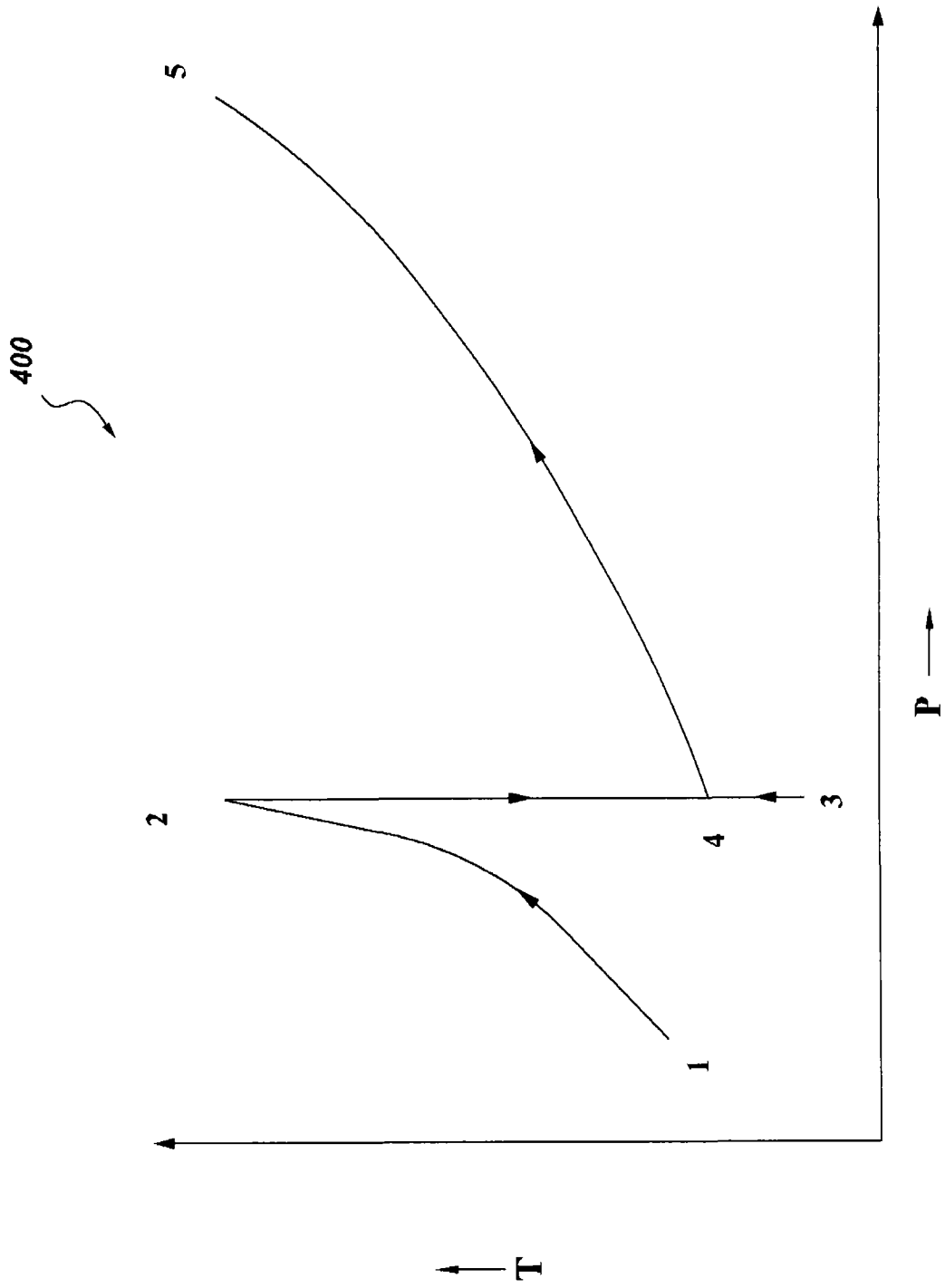


图 4B

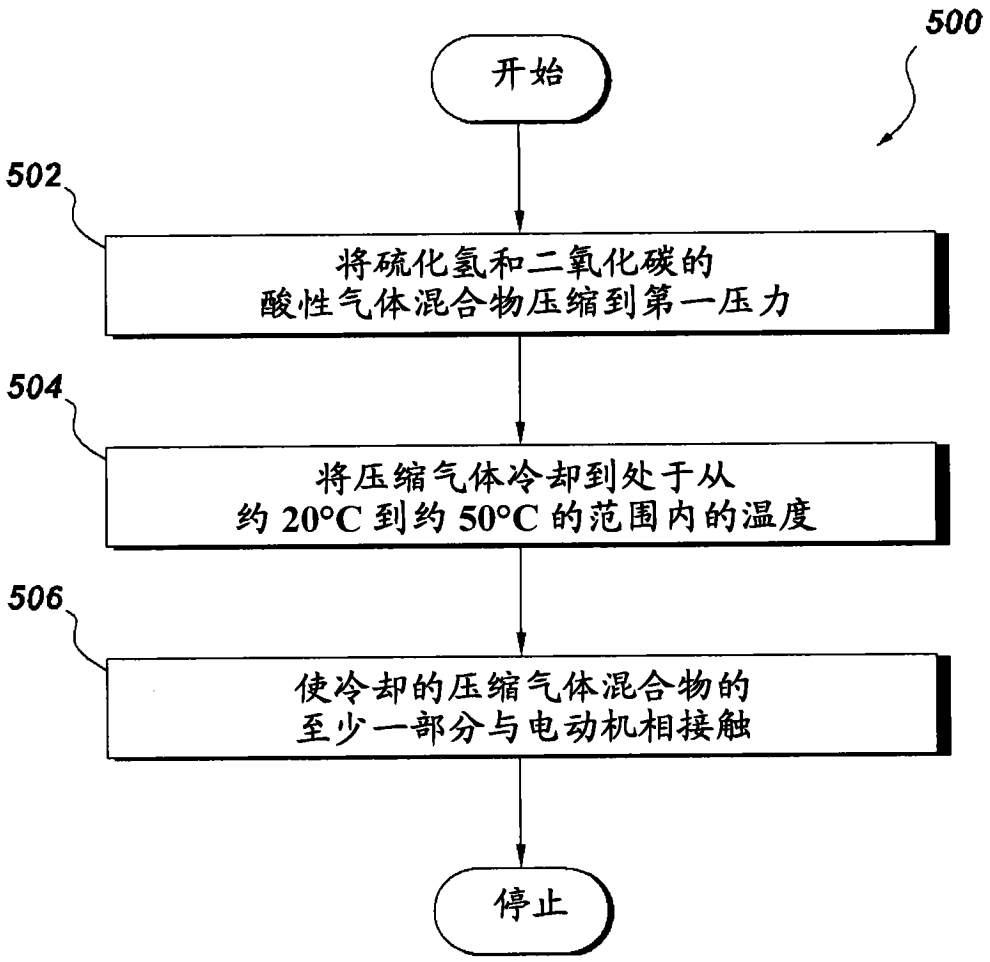

500
开始
502
将硫化氢和二氧化碳的
酸性气体混合物压缩到第一压力
504
将压缩气体冷却到处于从
约 20°C 到约 50°C 的范围内的温度
506
使冷却的压缩气体混合物的
至少一部分与电动机相接触
停止

图 5