



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102971593 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201180033135. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 05. 02

F25B 9/00(2006. 01)

(30) 优先权数据

P201030658 2010. 05. 03 ES

(56) 对比文件

US 2009/0293505 A1, 2009. 12. 03, 全文.

CN 101498537 A, 2009. 08. 05, 全文.

CN 1057329 A, 1991. 12. 25, 全文.

CN 1763417 A, 2006. 04. 26, 全文.

US 2006/0086099 A1, 2006. 04. 27, 全文.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 01. 04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/034842 2011. 05. 02

审查员 张涛

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/139989 EN 2011. 11. 10

(73) 专利权人 西班牙高等科研理事会

地址 西班牙马德里

专利权人 萨拉戈萨大学

GWR 仪器有限公司

(72) 发明人 孔拉多·里略·米连

勒蒂西亚·托卡多·马丁内斯

理查德·C·赖内曼

理查德·J·沃伯顿

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 李静 陈伟伟

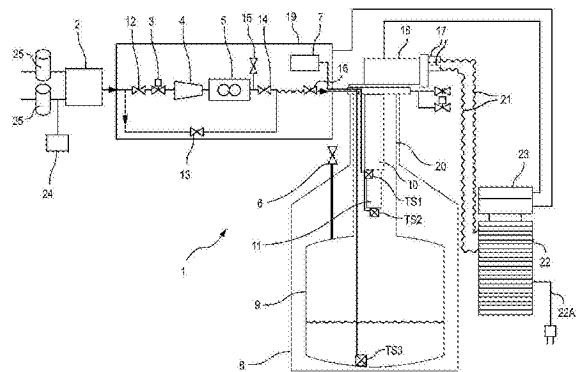
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

气体液化系统和方法

(57) 摘要

本发明提供了一种用于气体液化的系统和方法,在从略微高于大气压力到接近临界点的压力的多个压力范围,所述气体以液态在要求低温的应用中用作冷却剂。该系统和方法以闭合循环制冷器为基础并且利用气体的热动力特性以实现最佳液化速率。



CN 102971593 B

1. 一种用于液化气体的气体液化系统 (1), 包括:

气体进入模块 (2), 所述气体进入模块适于连接到气体源并且构造为将气体提供至所述系统;

热隔离容器 (8);

至少一个内部罐 (9), 所述至少一个内部罐在所述容器 (8) 中并具有从所述容器延伸的至少一个颈部 (20);

至少一个制冷冷墩 (18), 所述至少一个制冷冷墩具有位于所述颈部内的冷凝管部分并且朝向所述内部罐延伸;

气体压缩机 (22), 所述气体压缩机构造为将压缩气体提供至所述制冷冷墩以用于低温冷却器的操作;

其特征在于, 所述系统还包括:

至少一个气体压力及流动控制机构 (19), 所述气体压力及流动控制机构构造为动态地调节所述气体在所述气体进入模块与所述内部罐之间的压力和流动; 以及

至少一个控制装置 (23), 所述至少一个控制装置用于控制所述系统的液化性能, 所述至少一个气体压力及流动控制机构和所述至少一个控制装置构造为, 通过将所述内部罐内的压力维持在经液化气体的临界压力附近来控制流入所述内部罐内的气流以及所述内部罐内的压力以达到优化的液化性能, 以便提供能够采用所述制冷冷墩的最大冷却功率的液化条件。

2. 根据权利要求 1 所述的气体液化系统, 其特征在于, 所述气体压力及流动控制机构 (19) 包括:

一个或多个压力调节器 (4), 所述压力调节器调节流自所述气体进入模块的气体的压力;

一个或多个质量流量计 (5), 所述质量流量计配置为测量来自所述压力调节器的气体的体积;

一个或多个电控阀 (3);

一个或多个压力传感器 (7);

用于将所述压力调节器、质量流量计、电控阀、以及压力传感器耦接至所述控制装置的装置; 以及

用于耦合来自所述至少一个控制装置的信号以动态地配置所述压力调节器、质量流量计、电控阀、以及压力传感器的装置, 以使得所述气体压力及流动控制机构能够调节进入所述内部罐的气体的压力和流动。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的气体液化系统, 其特征在于, 所述系统还包括构造为控制通过所述压力控制机构的气体的通行的一个或多个机械阀 (12、13、14、15、16)。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的气体液化系统, 其特征在于, 所述气体是氦气。

5. 根据权利要求 3 所述的气体液化系统, 其特征在于, 所述气体是氦气。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的气体液化系统, 其特征在于, 经液化的气体的临界压力大于 1.0 巴并且不大于 2.27 巴。

7. 根据权利要求 5 所述的气体液化系统, 其特征在于, 经液化的气体的临界压力大于 1.0 巴并且不大于 2.27 巴。

8. 一种利用根据权利要求 1-7 中任一项所述的气体液化系统 (1) 的气体液化方法, 该方法包括以下步骤:

通过所述气体进入模块 (2) 将气体供应到所述气体液化系统 (1);

通过所述控制装置调节所述制冷冷级 (18) 的功率;

通过所述气体压力及流动控制机构 (19) 和所述控制装置 (23) 调节进入所述内部罐 (9) 的气体的流动, 以便在所述内部罐内实现恒定的压力;

对于进行液化的过程中的时间段, 通过所述气体压力及流动控制机构 (19) 和所述控制装置 (23) 将所述内部罐 (9) 内的压力维持在高于大气压力的液化压力下并且达到经液化的气体的临界压力; 以及

通过所述控制装置动态地调节所述制冷冷级的功率、进入所述内部罐的气体的流动以及所述内部罐内的压力, 以实现期望的液化性能。

9. 根据权利要求 8 所述气体液化方法, 还包括从所述内部罐 (9) 中的气体的总质量来确定所述内部罐 (9) 内部的液化气体的水平, 和 / 或通过测量热动力平衡下的压力或温度来确定所述气体和液体的密度。

10. 根据权利要求 8 或 9 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

触发电控阀 (3) 以进行关闭, 以防止气体流入所述系统中;

确定并维持所述内部罐 (9) 中的压力; 以及

执行所述制冷冷级的开 / 关循环, 致使制冷冷级 (10、11) 的温度超过存在于所述内部罐 (9) 内部的杂质的熔化温度与升华温度, 使得这些杂质沉淀并且落入所述内部罐 (9) 的底部中并且因此清洁所述气体预冷却与液化的区域。

11. 根据权利要求 8 或 9 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

等待模式, 其中液化气体的体积无限地保持在与所述内部罐中的蒸汽的量平衡的状态中, 所述等待模式通过这样的方式开始:

所述控制装置 (23) 通过所述气体压力及流动控制机构 (19) 触发所述电控阀 (3) 以关闭到所述气体液化系统的气体进入。

12. 根据权利要求 10 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

等待模式, 其中液化气体的体积无限地保持在与所述内部罐中的蒸汽的量平衡的状态中, 所述等待模式通过这样的方式开始:

所述控制装置 (23) 通过所述气体压力及流动控制机构 (19) 触发所述电控阀 (3) 以关闭到所述气体液化系统的气体进入。

13. 根据权利要求 8 或 9 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述方法包括在大气压力以上直接液化回收气体, 包括:

在气体在大气压力以上通过所述气体进入模块 (2) 通行以前将气体存储在缓冲器存储罐 (24) 中; 以及

通过所述气体压力及流动控制机构 (19) 将所述气体液化系统维持在大气压力以上的压力下。

14. 根据权利要求 12 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述方法包括在大气压力以上直接液化回收气体, 包括:

在气体在大气压力以上通过所述气体进入模块 (2) 通行以前将气体存储在缓冲器存

储罐 (24) 中 ; 以及

通过所述气体压力及流动控制机构 (19) 将所述气体液化系统维持在大气压力以上的压力下。

15. 根据权利要求 8 或 9 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述气体压力及流动控制机构 (19)、所述气体进入模块 (2)、以及所述控制装置 (23) 通过在至少一个数据存储装置中的软件程序来管理。

16. 根据权利要求 14 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述气体压力及流动控制机构 (19)、所述气体进入模块 (2)、以及所述控制装置 (23) 通过在至少一个数据存储装置中的软件程序来管理。

17. 根据权利要求 15 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述数据存储装置连接至负责执行所述软件程序的可编程装置。

18. 根据权利要求 8 或 9 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述气体从以下项构成的组中选择: 氦气、氮气、氧气、氢气、和氖气。

19. 根据权利要求 17 所述的气体液化方法, 其特征在于, 所述气体从以下项构成的组中选择: 氦气、氮气、氧气、氢气、和氖气。

## 气体液化系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及用于气体液化的系统和方法,并且更具体地说,涉及适于改进的液化和性能效率的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 氦是地球上的稀有元素并且其许多科学和工业应用继续推动不断增长的需求。例如,气态氦的通常使用包括焊接、提升(气球)、以及半导体和光纤制造。在液态中,一般的使用包括冷却某些药品和科学设备、清洗燃料箱体(NASA)、以及固态物理、磁性和很宽范围的其他研究课题中的基础研究。因为氦的普遍使用、其有限的可获得性、以及氦的有限储备,所以氦被认为是一种高成本不可再生能源。因此,越来越多地关注回收氦和类似的惰性气体。

[0003] 具体地,液态氦在有必要使温度达到 $-200^{\circ}\text{C}$ 以下的多种应用中被用作冷却剂。这种应用通常与超导体的使用相关,特别地是在疏散和绝缘容器或者称作杜瓦瓶(Dewars)或低温恒温器(cryostats)的真空瓶中操作的低温物理研究设备中。这种低温恒温器包括气相与液相的混合物,并且当蒸发时,气相通常释放到大气。因此通常有必要从外部来源购买额外的氦以持续低温恒温器中的设备的操作。

[0004] 液态氦的最重要应用之一是冷却在磁共振成像(MRI)设备中使用的高磁场超导线圈,所述磁共振成像设备通过非侵入性地形成内部本体的图像而提供了重要的诊断技术以便诊断人体中的宽泛种类的医学状况。

[0005] 液态氦的最大使用者是的大型国际科学设施或设备,诸如欧洲原子核研究委员会的国际实验室的大型强子对撞机。诸如欧洲原子核研究委员会的实验室通过它们自己的大规模(等级L)工业液化工厂来回收、净化、并且再液化回收的气体,这通常的产量多于100升/小时并且要求多于100千瓦的输入功率。对于具有适度消耗的实验室来说,产量约15升/小时的中等(等级M)液化厂是合适的。当气体以液态氮预冷时这些大型和中型液化厂实现约1升/小时/千瓦(24升/天/千瓦)的性能R,并且在没有预冷的情况下约0.5升/小时/千瓦(12升/天/千瓦)。

[0006] 为了较小规模的应用,现在可购得小型制冷器(refrigerator),其能够实现足够低的温度以液化多种气体,并且特别地,在低于4.2绝对温度的低温温度下液化氦。在该行业中,这些小型制冷器通常地称作闭合循环低温冷却器(cryocooler)。这些低温冷却器具有三个部件:(1)冷镗(coolhead)(其一部分被称作“冷凝管(cold finger,指形冷凝器)”并且通常地具有一个或多个冷却级),其中通过氦气的周期性压缩和膨胀冷凝管的最冷端实现非常低的温度;(2)氦压缩器,该氦压缩器将高压氦气提供到冷镗并且从冷镗接收低压氦气;以及(3)高压和低压连接软管,所述高压和低压连接软管将冷镗连接到氦压缩器。冷凝管的一个或多个冷却级中的每个均具有不同的直径以适应不同温度的氦流体的特性变化。冷凝管中的每个级均包括内部再生器以及内部膨胀体积,其中在每个级的最冷端处发生冷却。

[0007] 由于这些低温冷却器的发展,小规模(等级 S)液化工厂设施已经成为可购得的,然而,目前这些液化器的性能限于小于 2 升 / 天 / 千瓦。在这些液化器中,将被液化的气体不会经历复杂的热动力循环,而是通过与低温冷却器的冷级或者与附接到低温冷却器的冷级的热交换器的热交换来简单地冷却。在这些小规模液化器中,低温冷却器冷级在通常称作杜瓦瓶的双壁容器的颈部中操作,所述双壁容器仅包含将要被液化的气体并且是热绝缘的以使热量从容器外部到内部的流动最小化。在气体冷凝以后,所形成的液体存储在杜瓦瓶的内部罐的内部。

[0008] 理想地,以低温冷却器为基础的该小规模液化器可以实现与大型与中型规模液化器相当的效率。然而,在实践中,就升 / 天 / 千瓦而言的可实现液化性能对于这些小规模液化器已经显著地小于通过较大等级 M 和等级 L 液化厂实现的性能。因此,存在很大提高小规模液化器性能的空间,并且在本领域中该改进将特别有益。

## 发明内容

### [0009] 技术问题

[0010] 当前可获得的用于每天生产少于 20 升液化制冷剂的小规模液化工厂设施(或“S 等级”液化器)当与通过较大规模液化工厂设施获得的性能比较时是非常没有效率的。此外,中间和大比规模工厂设施具有极大的复杂性,要求广泛的维护,并且它们的液化率远超过许多用户的需要。根据这些限制,可以实现大于 2.0 升 / 天 / 千瓦的操作效率的“S 等级”的液化器先前是不可获得的。

### [0011] 技术方案和有益效果

[0012] 本发明的实施方式的一个目的是提供一种气体液化系统,以及用于基于低温冷却器来液化该气体液化系统中的气体的方法,该系统适于利用气态元素的空气动力学特性通过在升高压力处操作来从低温冷却器提取增加的冷却功率,并且因此升高液化温度,其中低温冷却器的增加的冷却功率用于改进该系统的液化率和性能。

[0013] 为了完成这些改进,气体液化系统适于具有用于控制该系统的液化区域内的压力的装置,以使得升高的压力提供在如上所述的增加的液化压力下的操作。通过精确地控制流入该系统中的气体,内部液化压力可以保持在升高的阈值处。在升高的压力处,就在重要临界温度以下,使用冷级的增加的冷却能量。

[0014] 液化区域在这里限定为杜瓦瓶内的容积,包括:邻近制冷器的第一级的第一冷却区域,在该第一冷却区域进入系统的气体进行初始冷却;以及邻近制冷器的第二或后续级的第二冷凝区域,在该第二冷凝区域冷却的气体进一步冷凝成液相。因此,对于本发明的目的,液化区域包括杜瓦瓶的颈部部分并且延伸到存储液化冷却剂的存储部分。

[0015] 在本发明的多个实施方式中,用于控制压力的装置可包括适于调节要进入液化区域的输入气体流的整体压力控制模块,以使得在液化过程期间精确地保持液化区域中的压力。另选地,从电磁阀、质量流量计、压力调节器、以及其他压力控制装置中选择的一系列压力控制部件可以单独地布置在该系统的几个位置处,以使得单一化部件的集体分组适于提供对进入系统的液化区域中的输入气体的控制。

[0016] 在本发明的一些实施方式中,液化的气体元素是氦。氦气然后在接近 2.27 巴的压力下并且在约 5.19K 下液化,以使从闭合循环低温冷却器可获得的功率最大化。作为指示

性数据,对于本发明的一个优选实施方式来说,该系统能够在标准状态下将 105,000 升的氦气液化 19kg 的氦质量,并使其进入到 150 升容量的容器。这利用在 4.2K 下消耗 7.5kW 的电力来产生 1.5W 冷却功率的典型制冷器,并通过在 5.19K 下超过 65 升/天(或者 260 克/小时)的液化速率(相当于在 4.2K 下 50 升/天的速率)来实现。性能因数 R 因此 >7 升/天/千瓦,这是在当前可获得的小规模液化器上的显著改进。自然地,由于低温冷却器自身的效率持续改进,因此这里描述的气体液化系统的性能也将改进。

[0017] 上述液化改进通过用于液化气体的气体液化系统实现,该系统包括:

[0018] 气体进入模块,该气体进入模块构造为将气体从气源提供到该系统;

[0019] 热绝缘容器,所述热绝缘容器的上部部件包括至少一个颈部部分,并且还包括至少一个内部罐,所述内部罐构造成保持气体以及从已经液化的气体而产生的液体;

[0020] 至少一个低温冷却器冷墩,位于所述热绝缘容器的顶部处,所述至少一个低温冷却器冷墩的冷部分至少部分地在颈部部分内延伸并且朝向所述容器的内部罐行进;

[0021] 气体压缩器,该气体压缩器构造为通过连接装置将压缩气体提供到低温冷却器冷墩以便低温冷却器的操作;

[0022] 至少一个气体压力控制机构,该气体压力控制机构构造为控制来自气体进入模块的气体吸入压力以及将该压力调节为所述系统内部所需的气体压力;以及

[0023] 控制装置,所述控制装置构造为通过所述气体压力控制机构控制该系统以及所述低温冷却器冷墩的性能。

[0024] 根据本发明的实施方式的系统适于对容器内部的蒸汽压力保持精确的控制,并且因此适于保持温度以及由此在那里产生冷凝的低温冷却器的能量的精确控制。因此,该系统允许控制低温冷却器的操作点和功率,如通过所述低温冷却器的一个或多个级的温度确定的,以及由此可以控制从气体提取的热量,既用于所述气体从室温到操作点的预冷却也用于所述气体的冷凝和液化。

[0025] 本发明的另一个方面提供了一种利用在本申请中公开的气体液化系统的气体液化方法,该方法包括以下步骤:

[0026] 通过气体进入模块将一定量的气体供给到气体液化系统;

[0027] 通过气压控制机构和控制装置调节进入内部罐的气体的压力;以及

[0028] 通过气体压力控制机构和控制装置调节低温冷却器冷墩的功率;

[0029] 通过气体压力控制机构来控制进入内部罐的气体的压力变化的速率,以便优化压力变化期间和之后内部罐内的液化速率;以及

[0030] 将存在于绝缘容器的内部罐中的气体的压力调节至恒定确定值,以设定期望的液化速率。

[0031] 总之,在下面的详细说明中描述的气体液化系统通过以较高的压力执行气体液化而实现了比现有的以低温冷却器为基础的液化器更高的效率,并且因此实现了较高的温度,这里低温冷却器具有更高的冷却功率以执行液化,并且被液化的制冷剂具有更低的冷凝热量。通过精确地控制进入液化区域的室温气体的流速,该系统的液化效率进一步提高并且稳定,并且从而精确地控制该系统的液化区域中的冷凝气体的压力。在较高冷凝压力下获得较高低温冷却器功率和较低冷凝热的双倍效果,通过精确的压力控制而进一步增强,从而允许该新的气体液化过程以与当前从其他基于低温冷却器的液化器可获得的输入

功率相比对该低温冷却器输入更少的功率而实现了更高的液化率。

### 附图说明

[0032] 当结合附图阅读时本发明的特性和优点通过下面的详细描述将更加显而易见,在附图中:

[0033] 图 1 是氦 4 的相图;

[0034] 图 2 是用于具有两个级的典型低温冷却器的加载图,其示出了在多种温度处的低温冷却器的第一与第二级的冷却功率,以及在该液化系统的典型液化循环的轨迹特性 (trajectory characteristic) 期间冷缴的几个操作点(a、b 和 c);

[0035] 图 3 是根据本发明的至少一个实施方式的系统及其组成元件的示意图;

[0036] 图 4 是用于改进图 3 的冷却气体的液化的所述系统的一部分的总体示意图,进一步示出了围绕该系统的液化区域的对流路径;以及

[0037] 图 5 是根据图 4 的系统的示意图,进一步示出了系统内的在这里被称作液化区域的虚线区域。

### 具体实施方式

[0038] 在下面的描述中,为了说明的目的而非限制性的,阐述细节并进行描述以便提供对本发明的彻底理解。然而,对于本领域中的这些技术人员显而易见的是在不偏离本发明的精神和范围的情况下,本发明可以在不同于这些细节和描述的其他实施方式中实施。下面将参照附图描述一些实施方式,其中说明性特征通过参考标号指出。

[0039] 在本发明的一般实施方式中,液化系统(这里还称作低温恒温器)包括隔离的存储容器或者杜瓦瓶,所述存储容器或杜瓦瓶包括存储部分和从存储部分延伸并且连接到处于周围环境温度下的外部容器的颈部部分。杜瓦瓶通过一壳体绝缘,壳体内的在存储部分外部的容积基本上排空了空气。颈部部分适于至少部分地接收低温冷却器冷缴。该冷缴可以包括一个或多个级,每个级均具有不同的横截面。可选地,隔离容器的颈部部分可以适于以阶梯式的方式在几何形状上与冷缴低温冷却器的一个或多个级相符。隔离的容器还包括从存储部分延伸到杜瓦瓶的上表面的传送端口。还设有控制机构以便控制气体流动,以及由此控制杜瓦瓶的液化区域内的压力。控制机构通常地包括:压力传感器,该压力传感器用于探测低温恒温器的液化区域内的压力;压力调节器或者用于调节进入杜瓦瓶的液化区域的气体压力的其他装置;质量流量计;以及一个或多个阀,所述一个或多个阀用于调节进入液化区域的输入气体流。在此方面,控制机构还连接到计算机以便动态地调节输入气体流,以及因此,调节在低温恒温器的液化区域内的压力以便产生最佳效率。

[0040] 尽管未示出,应该指出的是低温恒温器可以包括一个或多个存储部分以及在隔离容器内部从所述存储部分延伸的一个或多个颈部部分。

[0041] 在本发明的一个实施方式中,气体液化系统的制冷冷缴朝向容器的内部罐行进并且包括限定制冷级的至少一个级。

[0042] 在本发明的另一个实施方式中,低温冷却器冷缴包括朝向容器的内部罐行进的由第一级和第二级构成的缸体,所述第一级和第二级都平行于容器的颈部定向,并且所述第一级和第二级共同地限定两个制冷级。

[0043] 在又一个实施方式中,朝向容器的内部罐行进的低温冷却器冷墩包括共同地限定三个或更多个冷却级的三个或多个级。

[0044] 对于本发明的这些实施方式来说,包括制冷系统的一个或多个级的冷墩在热隔离容器或杜瓦瓶的颈部中操作。第一级是最暖的并且在颈部中比其他级更远离液化区域地来操作,其他级在颈部中更靠近液化区域地操作。气体在颈部的暖端进入并且通过冷墩的第一级的壁、通过第一级的最冷端预冷却,进而通过更冷的级的壁进一步预冷却,并且然后在冷墩的最冷级的最冷端处冷凝。(对于一个级的实施方式,冷凝发生在第一级的最冷端)一旦冷凝或液化,液体便落到所述箱的底部,或者落到存储部分,并位于隔离容器的内部。封闭循环低温冷却器的每个级产生的冷却功率主要地通过该封闭循环低温冷却器是温度确定,但是其次也取决于在先前级的温度。该信息通常由低温冷却器制造商提供,该信息为描绘第一和第二级的功率与第一和第二级的温度的相关性的二维载荷图。对于本发明很重要的是在每个级可获得的冷却功率通常随着温度增加。

[0045] 除了在第一级和随后的级处产生冷却功率,冷墩还沿着其整个长度,特别是在室温与第一级的最冷端之间沿着柱形冷凝管的表面,以及沿着柱冷凝管在第一级与随后级之间的长度产生冷却功率。本发明的一个目的是使气体与多个冷却级之间,以及气体与低温冷却器冷墩的多个冷却级之间的柱冷凝管的壁之间的热交换最优化。这通过使用气体的高热传导性特性实现,而不需要任何类型的附接到冷墩的机械热交换器或者冷凝器,或者在颈部中的任何辐射屏,这些装置在先前现有技术的系统中通常认为是必要的。因此,本发明的又一个目的是通过对气体与在多个冷却级之间的柱形冷凝管的壁之间的热传递进行优化而在最高可能温度处从气体中提取出尽可能多的热量。这还将减小在低温冷却器冷墩的多个冷却级上的热载荷,从而使预冷和液化过程的热效率优化。

[0046] 通常地说,多级冷墩构造有上部级或第一级,该上部级或第一级具有比冷墩的下部级更大的直径。在此方面,低温冷却器冷墩的这些级以阶梯样式制造,其中两个或多个级具有不同的横截面。隔离容器的颈部部分可以适用于多个实施方式中以便接收低温冷却器冷墩的一个或多个级。

[0047] 在一个实施方式中,隔离容器的颈部部分可以包括适于与低温冷却器冷墩的一个或多个级的表面紧密配合的内表面,使得颈部部分在第一级处包括第一内径并且在第二级处包括第二内径,其中第一内径与第二内径不同。狭窄的容积减少了沿着颈部的热载荷,同时阶梯状的颈部改进了气体与低温冷却器之间的交换过程,以利于在阶梯区域中的自然热对流,至少在初始冷却期间。

[0048] 另选地,颈部部分可以适于具有沿着颈部部分的与低温冷却器冷墩中的一个或多个级邻近的长度延伸的一致内径。当使用直的颈部时,对于初始冷却和液化来说交换过程仍然是高效的。因此,本发明可以在容器内部使用直的或者阶梯状的颈部。

[0049] 在本发明的一个实施方式中,气压控制机构包括下面元件中的一个或多个:

[0050] 电控输入阀,比如电磁阀,所述电控输入阀允许气体从所述气体进入模块进入所述系统;

[0051] 绝对压力调节器,所述绝对压力调节器调节从所述气体进入模块流动至热隔离容器的内部罐的气体的压力;

[0052] 质量流量计,所述质量流量计测量来自绝对压力调节器以及进入内部罐的气体体积;

以及

[0053] 压力传感器,在隔离容器内部,所述压力传感器测量隔离容器的内部罐内的气体的压力。

[0054] 根据本发明的该实施方式,管道或导管的系统、阀(手动或者电控制的)、以及控制机构能够在气体进入杜瓦瓶时对操控气体的压力和质量流速。该进入的气体压力可以不同于存在于杜瓦瓶内的气体的压力,或者可能需要调节杜瓦瓶中的压力以实现最佳性能。为了避免极大地扰乱平衡状态的快速压力变化,该系统通过例如电磁阀和压力控制机构来整合上述气压控制机构。该过程调节对于控制从气体进入机构到杜瓦瓶的气体流动而言必要的进入压力。

[0055] 此外,本发明的该系统通过使用控制机构实现了其精确的压力控制,所述控制机构通过调节阀和气体的质量流来调节低温冷却器的冷媒的冷却功率。

[0056] 此外,控制结构从该系统接收必要的的数据以计算在容器内部的液体的水平(level),所述容器需要执行必要的调节。此外,可以在略微高于大气压力处开始并且达到接近临界气压值的变化压力范围下执行液化过程。利用具有特定的控制软件(诸如基于实验室观察的应用)的诸如个人电脑或者 FPGA(场程序化门阵列)的可编程装置,或者连接到软件存储在其中并且可远程地存取的数字存储硬件,全部功能和程序都可远程或在原地控制。

[0057] 在本发明的另一个实施方式中,液化系统包括传送端口和位于允许液体提取的隔离容器的顶部处的阀,所述液体由存在于内部罐内的存储部分中的液化气体而产生。

[0058] 在本发明的一个实施方式中,气体液化方法包括从容纳在内部罐中的气体的总质量以及通过在热动力平衡处测量的压力或温度而确定的气体和液体的密度,来确定内部罐的存储部分内部的液化气体的水平。气体水平可以根据包括质量流速率、集成的质量流速率、容器的内部罐的总容积、以及如通过容器内部的压力和温度确定的气体和液体的密度的算法来计算。

[0059] 在本发明的另一个实施方式中,气体液化方法包括清洗模式,该清洗模式包括以下步骤:

[0060] 触发输入阀使其关闭,以防止气体流入到气体液化系统中;

[0061] 确定并保持隔离容器的压力;以及

[0062] 执行制冷冷媒的开/关循环,迫使低温冷却器级的温度超过存在于隔离容器内部的杂质的熔融与升华温度,使得该杂质沉淀并且落入到内部罐的底部并且因此净化气体预冷却与液化的区域。

[0063] 在又一个实施方式中,气体液化方法包括等待模式(standby mode,备用模式),其中液化气体的体积以与蒸汽平衡的方式无限地保存,这通过控制装置启动,通过气体压力控制机构触发进入阀以关闭进入到系统中的气体并且通过执行冷媒的开始/停止循环或者通过低温冷却器冷媒的速度控制来获得必要减小功率。

[0064] 通过上面的执行开始/停止循环的等待模式以及清洗模式,通过进入控制机构的自动操纵,人们可以停止气体液化并且保持内部罐中的液体体积恒定。低温冷却器冷媒的开始/停止循环在冷媒中产生温度循环,所受温度循环允许在上述冷媒的阶梯缸体处获得的杂质的熔融以及随后的沉淀。

[0065] 在又一个实施方式中,气体液化方法使回收气体能够在大气压力或略微高于大气压力下直接液化,该方法包括:

[0066] 在大气压力或略微高于大气压力处将气体存储在缓冲器存储箱体中;以及

[0067] 通过气体压力控制机构使该系统保持在大气压力或大气压力附近以便优化液化。

[0068] 对于氦的情形来说,当杜瓦瓶中的蒸汽压力与液体平衡时,气态和液态氦的温度仅通过平衡蒸汽-压力曲线限定。对于本发明重要的是氦的温度随着压力沿着蒸汽压力曲线增加。在氦的情形中,压力和温度均从氦的三相点(在 0.051 巴的绝对压力和 2.17K 的温度下)增加到氦的临界点,这在 2.27 巴的绝对临界压力  $P_c$  与 5.19K 的临界温度  $T_c$  处发生。通常没有施加的载荷,关闭的循环低温冷却器所达到的最低温度为约 3K,对此温度氦的蒸汽压力为约 0.5 巴。因此,闭合循环低温冷却器系统与氦蒸汽压力曲线重叠的实际范围从在 3K 的约 0.5 巴到在 5.19K 的 2.27 巴。因此,制冷系统还可以在中间点处在大气压力与 4.23K 的温度处操作。

[0069] 在本发明的气体液化方法的另一个实施方式中,气体压力控制机构、气体进入模块、以及控制装置通过在至少一个数字数据存储装置中的软件程序来管理。

[0070] 在另一个实施方式中,数字数据存储装置连接到负责执行软件程序的可编程装置。

[0071] 在另一个一般性的实施方式中,结合描述的系统提供用于气体的液化的方法。该方法包括:

[0072] (i) 至少提供:包含一定量的气相冷却剂的源;杜瓦瓶,该杜瓦瓶具有由存储部分和从该存储部分延伸的颈部部分限定的液化区域;低温冷却器,该低温冷却器至少部分地布置在颈部部分内,该低温冷却器适于使容纳在液化区域内部的冷却剂从气相冷凝至液相;以及压力控制机构,该压力控制机构包括至少一个压力传感器、一个质量流量计、以及一个或多个阀;

[0073] (ii) 使用所述压力传感器测量所述杜瓦瓶的所述液化区域内的蒸汽压力;

[0074] (iii) 通过动态地控制液化区域周围的输入气体流在操作范围内将所述蒸汽压力保持在所述液化区域内;以及

[0075] (iv) 使用压力控制机构调节液化区域周围的输入气体流。

[0076] 在一些实施方式中,该方法还可以包括在计算机上处理数据以便动态控制低温恒温器的步骤,其中所述数据包括以下项中的至少一个:测得的蒸汽压力;以及输入气体流的速率。

[0077] 尽管氦在代表性实施方式中被广泛地讨论,应该认识到其他的制冷剂也可以以类似的方式使用,这些方式包括而不限于:氮、氧、氢、氖、和其他低温气体。

[0078] 此外,应该认识到尽管在这里的几个描述性实施方式中描述为不同的单元,控制机构的部件可以单独地定位在其他系统部件附件并且适于完成类似的液化过程。例如,压力调节器可以附接到气体存储源或者另外地定位在存储源与低温恒温器系统的液化区域之间的任何地方。另选地,该源可以装配有压缩机以提供期望压力的输入气体。该系统在压力控制机构内并不是必要地需要压力调节器。应该认识到,可以实现所述系统的多种更改的构造以使得可以获得类似的结果。因此,压力控制机构旨在包括直接附接或者在其他情况下共同地设置在系统内的部件的集合,以便动态地控制输入气体流,以及因此控制在

低温恒温器的液化区域内的压力。

[0079] 现在参照附图,图 1 示出了氦 4 的一般相图。一般闭合循环的低温冷却器冷敏的操作范围在约 3.0K 与约 5.2K 之间并且在约 0.25 巴与约 2.27 巴之间。参照图 1 的液化曲线, $Z_1$ 代表氦气在大气下液化的点,并且液化温度是约 4.2K,用于小规模液化器的现有技术的当前状态也是这样。 $Z_2$ 表示液化曲线上的氦气刚好在液体和气体处于平衡的临界点以下液化的点。在  $Z_2$  处的压力在临界压力  $P_c$  (这里约 2.2 巴)附近,并且  $Z_2$  处的液化温度是约 5.2K。本液化系统旨在就在该点( $Z_2$ )处操作并且优选地在典型氦气液化过程期间操作。

[0080] 最佳液化压力略微在临界压力以下,即在氦的情形中是 2.1 巴,对该速率的压力可以达到并且超过 2.1 巴下 65 升 / 天(260g/h),相当于 1 巴下 50 升 / 天,具有等于或者甚至高于 7 升 / 天 / 千瓦的效率。

[0081] 图 2 表示加载图,其限定了以 50Hz 操作并且使用 7.5kW 的功率操作的典型低温冷却器冷敏 18 (参见图 3) 的特征。该加载图限定了一组成对的点( $T_1, T_2$ )和( $P_1, P_2$ )之间的独特关系,其中  $T_1$  是第一级的最冷端的温度, $T_2$  是第二级的最冷端的温度, $P_1$  是第一级 10 的功率,并且  $P_2$  是第二级 11 的功率。测量点(0W, 0W)映射到点(3K, 24K),这表示在没有载荷施加到该低温冷却器的两个级的任一个上的情况下实现的最低温度在第二级上约 3K 并且在第一级上 24K。测量点(5W, 40W)映射到点(6.2K, 45K)并且示出如果 5W 的功率施加到第二级并且 40W 的功率施加到第一级,则第二级将以约 6.2K 操作并且第一级以约 45K 操作。测得的加载映射点通过线连接以插入中间点。

[0082] 在加载图上也示出了作为连续线循环连接点(a)、(b)、和(c)的有效氦气液化循环。这些点通过氦的温度(或者压力)确定并且相对于第二级的温度  $T_2$  绘制。点(a)处于约 4.3K 的温度( $T_2$ )处,该温度与约 1.08 巴的压力相应,该压力略微高于 1.0 巴的大气压力。在点(a)处液化速率为约 20 升 / 天。点(b)靠近临界点并且在 5.1K 的温度  $T_2$  处,该温度与 2.1 巴的压力相应。在点(b)处出现最大液化效率并且通常地所述系统保持在点(b)处直到内部罐的体积完全地填充以液态氦。在点(b)处,液化速率是约 65 升 / 天(260g/hr),这相当于在 1.0 巴处 50 升 / 天。示出的将点(a)连接到点(b)的轨迹是在这两个点之间沿循的同时保持准平衡状态的一个最有效路径。

[0083] 点(c)在大气压力下为约 4.2K ( $T_2$ ),在将液体传送到杜瓦瓶外部并且进入科学或医学装置以前该系统通常地返回到所述大气压力。示出的将点(b)与点(c)连接的轨迹是在这两个点之间取得的最有效轨迹的其中之一。不仅在内部罐中的压力降低,而且由于液体的密度在这些两个点之间增加,因此液体收缩的体积以及因此液化必须沿着该轨迹继续以便当所述迹线达到点(c)时保持内部罐填充有液体。

[0084] 气体液化系统也可以在比由点(a)、(b)、和(c)限定的轨迹更宽的范围上操作。液化器的总工作区域的一个实例描述为图 2 中的虚线所包围的区域。该工作区域的下左区域包括压力小于 1 个大气压情况下氦气的液化,其中第二级的最冷端的温度  $T_2$  在 4.2K 以下并且液化速率继而是约 17 升 / 天。该区域对于 MRI 设备以及必须在这些条件下操作的其他设备是适当的。在工作区域的上右区域处,示出液化器可以在临界点以上操作,在那里液化器仅以稠密氦气填充内部罐。其他有效轨迹包括,例如,点(c)与点(a)匹配的情形,限定了包括轨迹(a)、(b)、(a)的闭合循环。

[0085] 图 3 示出了根据本发明的多个实施方式的一般气体液化系统 1 的示意图。该系统

主要通过气体进入模块 2 供给以气体,优选地在氦气情况下供以 99% 纯度或更高纯度的回收气体,但是如果有必要该系统可以以较低的纯度等级操作。图 3 的系统示出了两个氦气源 25,第一源直接连接到气体进入模块,并且第二源还包括用于与敏感性 MRI 和其他设备一起操作缓冲器存储箱 24。气体在诸如杜瓦瓶或热水瓶容器的热绝缘真空瓶或容器 8 的内部罐 9 中液化。该液化过程包括控制内部罐中的气体压力,同时气体通过包括具有一个或多个级的闭合循环低温冷却器的一个或多个低温冷却器冷墩 18 来冷却与冷凝,所述一个或多个级布置在隔离容器的内部罐的一个或多个颈部 20 中。

[0086] 尽管原则上本发明允许使用任何多级低温冷却器,但下面的描述指向包括具有两个制冷级的冷墩的实施方式。然而,对于本领域中的技术人员显而易见的是,在其他类型的冷墩的应用(装配有一个、两个、或更多个制冷级)能够以液化速率的同等增加而类似地实现。

[0087] 在图 3 中,低温冷却器冷墩 18 具有通过阶梯样式限定的两个冷级,第一级 10 的柱形直径大于第二级 11 的直径。在氦的情形中,气体的高导热率以及通过沿着重力方向的热梯度产生的对流在冷墩的两个级与气体之间的提供了非常有效的热交换,并且消除了对机械热交换器、冷凝管、以及辐射屏的需要。对流仅在第一冷却过程中是重要的,因为在内部罐 9 的底部变冷之后,氦在温度中分层并且梯度通常与重力相反。温度传感器被用于测量在第一级 10 的下端处的蒸汽温度  $T_{S1}$ ,在第二级 11 下端处的蒸汽温度  $T_{S2}$ ,以及在内部罐 9 的底部处的蒸汽或液体温度  $T_{S3}$ 。在冷凝以后,固体沉降到内部罐的存储部分中并且填充该存储部分。当需要时,液体经由传送阀或端口 6 被手动地或者自动地传送到内部罐的外部。在冷墩上的连接装置 17 被用于连接到制冷压缩机 22,经由所述制冷压缩机压缩气体经由压缩机软管 21 被供给到冷墩 18 并且从冷墩返回并且电力经由压缩机电缆 22A 被供给到冷墩并且从冷墩返回。

[0088] 气体压力控制机构 19 保持对气体的输入流的控制以控制内部罐 9 内部的压力。气体压力控制机构利用压力传感器 7 测量内部罐的压力并且利用输入阀 3 (优选地电磁阀)、压力调节器 4、以及多种流动控制输入阀(优选地电磁阀或者手动阀 12、13、14、15、16)来控制将要到容器的气体的流速。气体质量流量计 5 测量瞬时流速,所述瞬时流速通过气体压力调节器 4 调节,因为气体压力调节器控制压力。综合的气流、压力、和温度被用于计算气体的总量以及在隔离的容器 9 的内部罐内累积的液体的水平。如果氦供给的压力不充足则气体压力控制结构 19 便可以停止气体输入,并且可以将该系统切换到等待模式以保持液化气体的质量。当可用于低温冷却器的冷墩 18 的最后一级 11 上的冷凝的功率增加时,将要进入隔离容器的气体的质量流,以及因此液化速率将会增加。由于氦以与冷墩相同的温度曲线分层,因此在气体与冷墩之间的热交换被优化。

[0089] 至少包括监控器和装配有程序化软件/硬件的计算机的计算机控制装置 23 通过气体压力控制机构 19、制冷冷墩 18、低温冷却器压缩机 22、温度传感器、以及在内部罐内的可选择等级指示器来控制系统的性能。

[0090] 液化过程包括将相当于内部罐 9 100% 体积的气体的质量引入所述内部罐并且使所述内部罐保持尽可能接近大气压力或者在最短可能时间内接近用于液体的选择应用的压力。为实现这点,在整个过程期间必须通过低温冷却器 18 的冷墩从气体提取最大功率。也就是说,该过程在低温冷却器冷墩加载图上描述的轨迹中理想的且最有效的一个。

[0091] 在本发明的另一个实施方式中,气体液化系统 1 构造为用于在 MRI 机器中的回收氦。为了增加的安全性,气体回收系统可以包括位于 MRI 机器与小的缓冲存储箱 24 之间的额外的手动安全阀,所述小的缓冲存储箱优选为金属的,且就布置在气体入口之前。该缓冲器存储箱或外部容器的功能是建立小型气体储备器,其中压力可以调节为在大气压或接近大气压处执行,且总是在 MRI 机器的特定范围内。此外,竖直进出端口 6 可以定位在杜瓦瓶的顶部部分的其中一个侧面上,以便将液体氦从液化器传送到科学或医学 MRI 设备。这可以构造为插入简单的传送管,或者其可以构造为具有低温阀。

[0092] 当在内部罐 9 中的液体与等压过程相对应时冷蒸汽的冷凝过程累积,在所述等压过程期间压力中的任何干扰都导致减小的液化速率。对于以最佳效率执行的气体液化系统 1 来说,因此有必要用不同的气体压力控制机构 19 的电子控制来执行内部罐 9 的精确压力控制,并且贯穿整个过程都保持该控制。

[0093] 已经观察到,最高的液化速率仅能够以 99.99% 或更好的气体纯度获得,而较低纯度的气体显著地使液化性能劣化。此外,在被不纯净气体污染之后,当输入气体恢复到 99.99% 或更好的纯度时,该系统没有显示出液化速率的改进。然而,等待模式还可以被用于清洁冷墩的表面并且用于恢复效率。当第一级与第二级的温度被设置为足够高以产生任何杂志的融合和升华时,该系统便在没有气体损失的情况下经历再生、或者清洁过程。在一组几个这样的等待模式循环以后,液化速率再次增加到液化高纯度气体的特征值。在液体传送操作过程中,由于制冷冷墩的第一级与第二级的温度增加(超过 100K),因此再次产生了相同的净化或再生效果。

[0094] 图 4 和图 5 进一步示出了根据本发明的多个实施方式的用于冷却剂液化的系统。系统 101 包括真空隔离容器 102,该真空隔离容器具有存储部分或箱 103 以及从所述存储部分延伸的颈部部分 104、至少部分地容纳在颈部部分内的冷墩低温冷却器 105、以及由大体上布置在存储部分与颈部部分之间并邻近冷墩的一定体积的空间限定的液化区域 106 (如通过图 5 的虚线区域进一步描绘的)。冷墩包括 N 个冷墩级,表示为第一级 107、第二级 108、第三级 109、以及第 N 级 110。在图 5 的系统中,颈部部分是直的颈部。然而如通过图 4 中的虚线指出的,颈部能够可选择地适于在几何形状上与冷墩级的表面相符。在图 4 中进一步描述了冷却气体对流路径 111。该系统适于通过控制低温恒温器的液化区域内的压力来改进冷却剂的液化。压力控制机构 114 包括电子压力控制器 112 和用于控制流入低温恒温器的输入气体的质量流量计 113,以使得液化区域内的压力优化从而改进液化。提取端口 115 提供了液化冷却剂的存取。

[0095] 在本发明的一些实施方式中,用于改进诸如氦的冷却剂的液化的方法,包括:

[0096] 提供低温恒温器,该低温恒温器包括:具有存储部分和从存储部分延伸的至少一个颈部部分的真空隔离容器;冷墩低温冷却器,该冷墩低温冷却器至少部分地容纳在颈部部分内;以及液化区域,该液化区域通过布置在存储部分与颈部部分之间且邻近冷墩的一定体积的空间限定;

[0097] 提供压力控制机构,以便在低温恒温器的液化区域周围保持期望的压力,其中该期望的压力在液化区域周围的是基本均匀的;以及

[0098] 在液化过程期间控制液化区域内的压力,以使得冷却剂的液化可以在略高的温度处完成,在所述温度处低温冷却器构造为以增加的冷却功率操作。

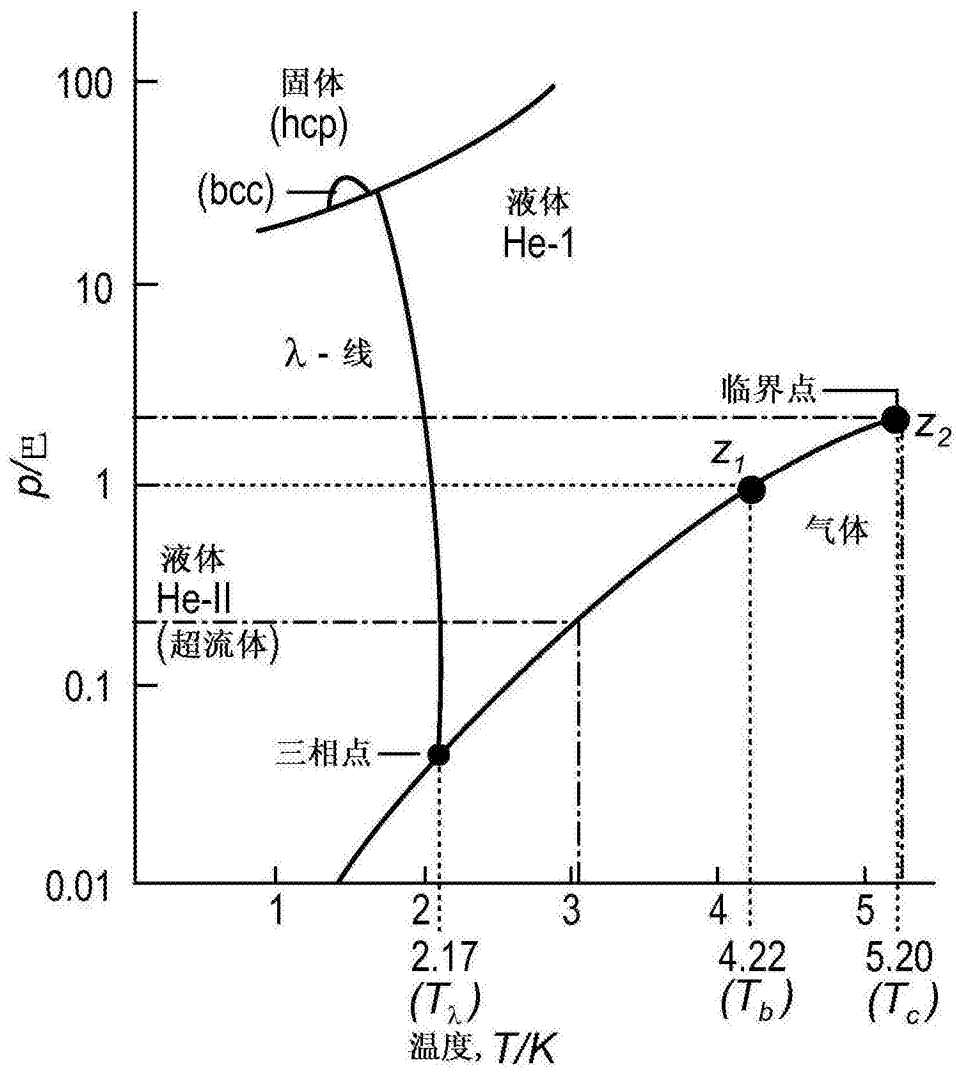


图 1

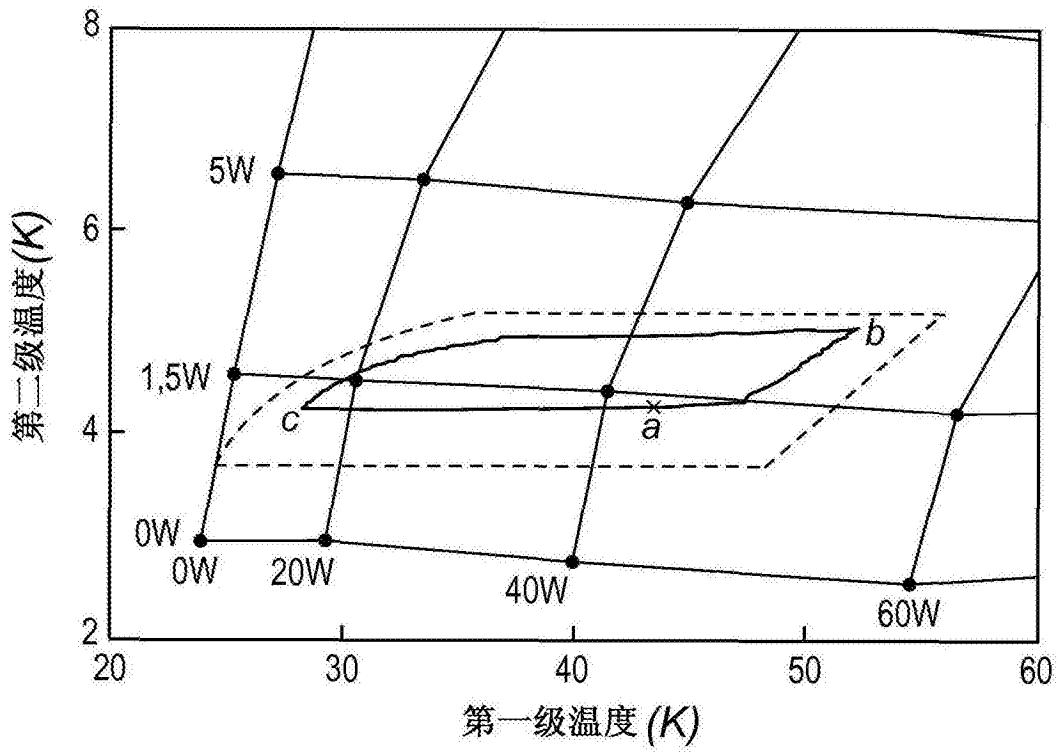


图 2

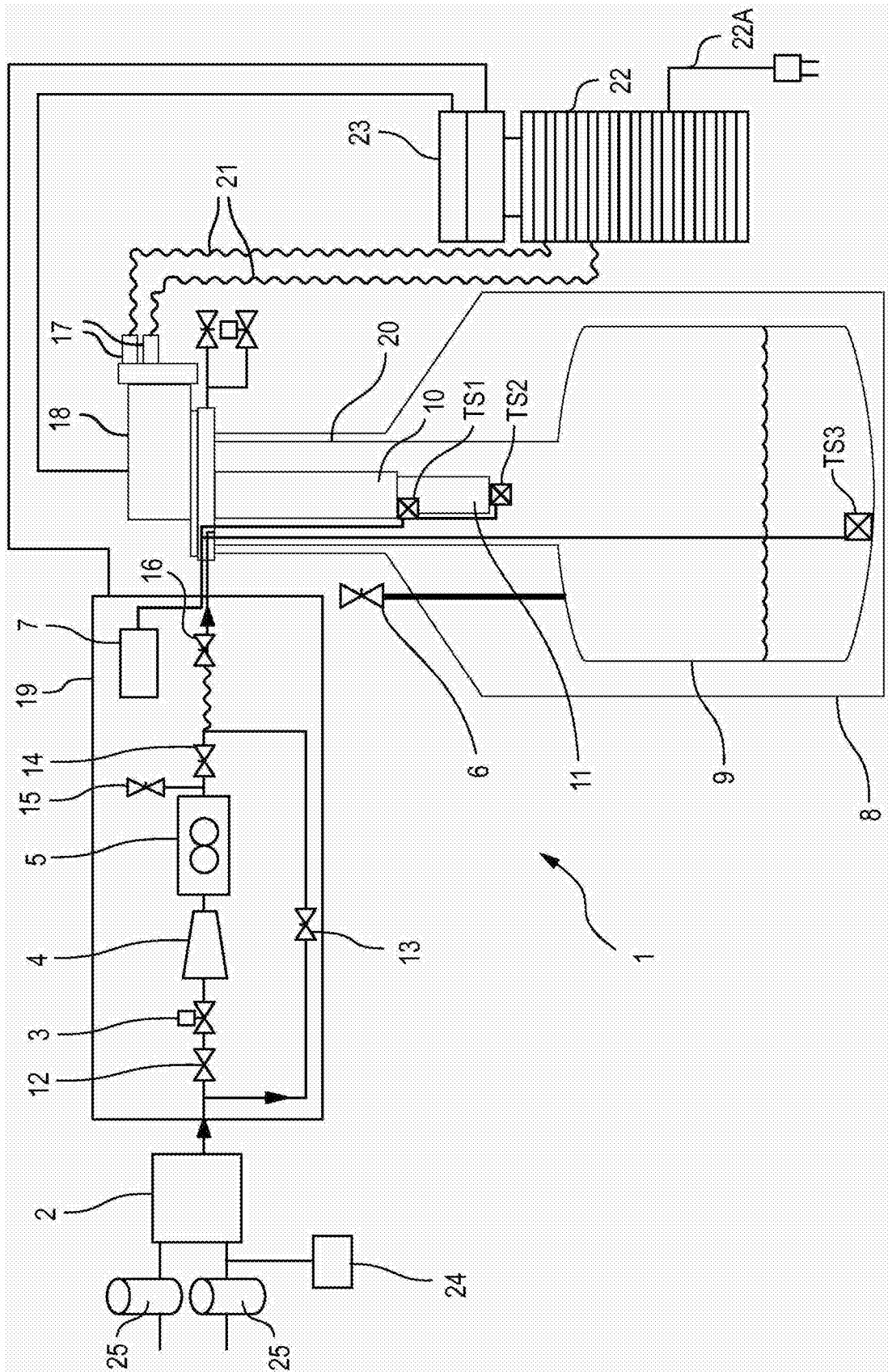


图 3

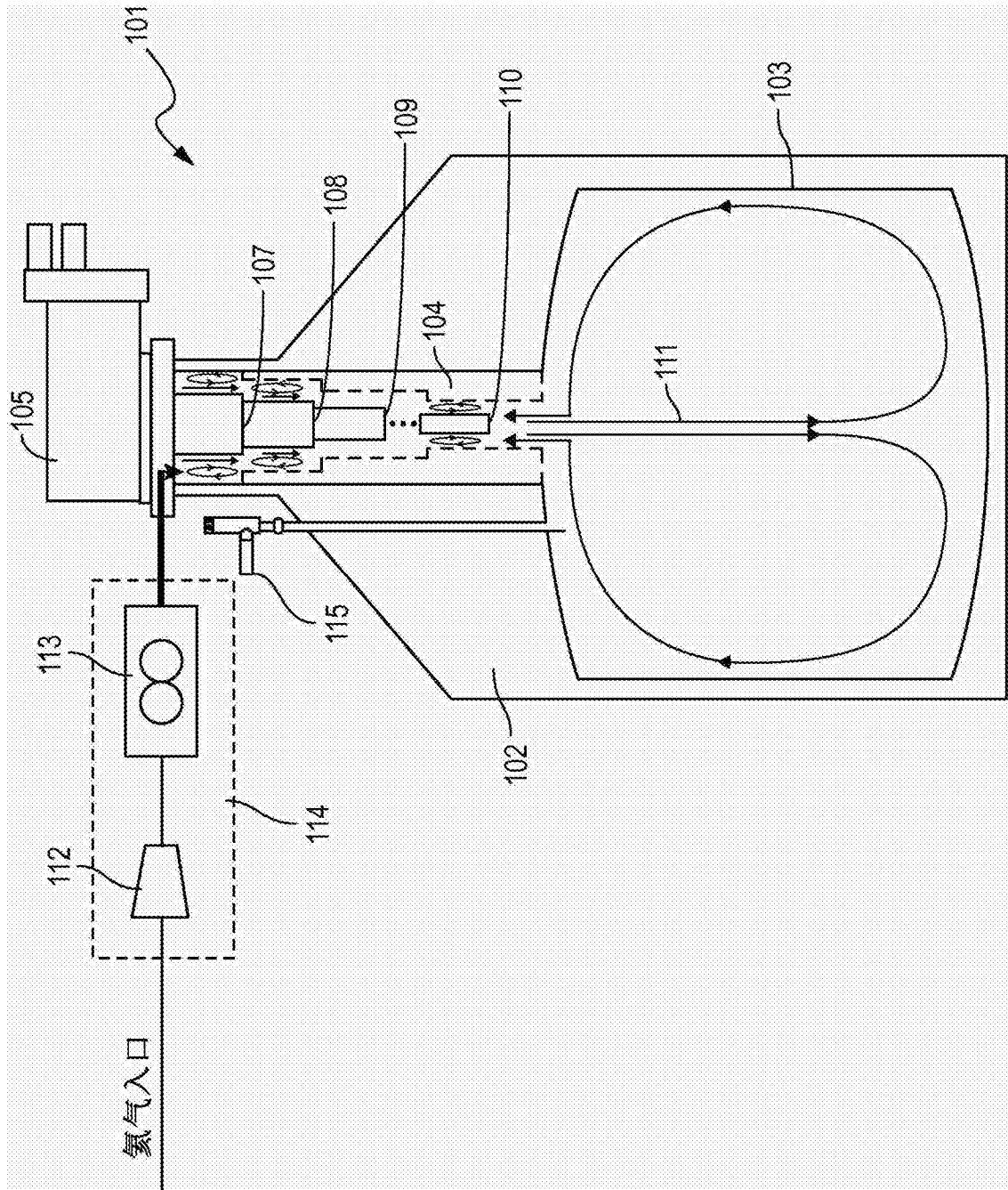


图 4

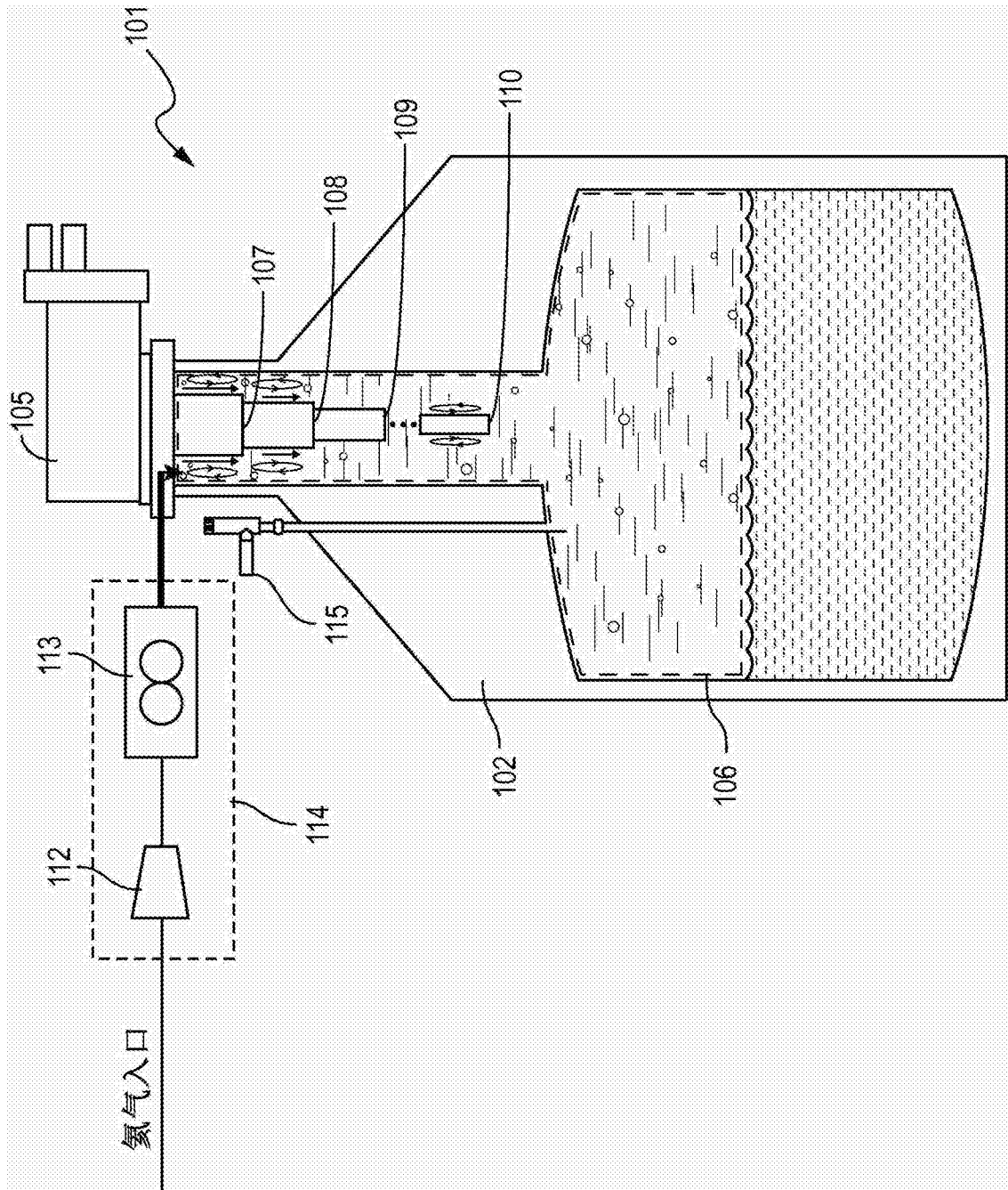


图 5