



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103620202 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 05

(21) 申请号 201180069180. 3

(22) 申请日 2011. 12. 20

(30) 优先权数据

10-2011-0022101 2011. 03. 11 KR

10-2011-0096464 2011. 09. 23 KR

10-2011-0107922 2011. 10. 21 KR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 09. 10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/KR2011/009825 2011. 12. 20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/124886 KO 2012. 09. 20

(71) 申请人 大宇造船海洋株式会社

地址 韩国首尔市中区茶洞 85 番地

(72) 发明人 郑承教 郑济宪 李正汉 李成俊

申铉俊 崔东圭

(74) 专利代理机构 北京中原华和知识产权代理

有限责任公司 11019

代理人 寿宁 张华辉

(51) Int. Cl.

F02M 21/02 (2006. 01)

F02M 25/08 (2006. 01)

F02M 33/02 (2006. 01)

权利要求书1页 说明书27页 附图15页

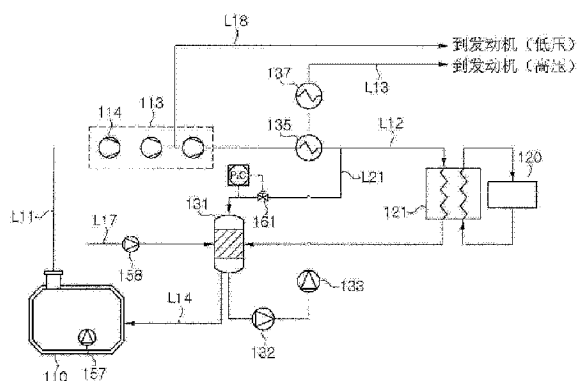
(54) 发明名称

将燃料供应到具有再液化装置和高压天然气喷射式发动机的海事结构的系统

(57) 摘要

本发明涉及用于将燃料供应到海事结构的系统,所述海事结构具有用于蒸发气体的再液化装置和高压天然气喷射式发动机,所述海事结构例如为安装了曼恩电子气体喷射式发动机的液化天然气船,所述系统用于在将所述再液化装置消耗的能量减到最少的同时,将燃料有效地供应到高压天然气喷射式发动机。根据本发明,提供用于将燃料供应到高压天然气喷射式发动机的系统,所述系统包括:蒸发气体压缩部分,用于从储罐接收从储罐产生的蒸发气体,且压缩所述蒸发气体;再液化装置,用于接收在所述蒸发压缩部分中压缩的蒸发气体,且使所述蒸发气体液化;高压泵,用于压缩所述液化蒸发气体,所述液化蒸发气体是在所述再液化装置中液化;以及高压气化器,用于使所述高压泵中压缩的液化蒸发气体气化,其中用于将燃料供应到高压天然气喷射式发动机的系统更包括再冷凝器,所述再冷凝器安装在所述高压泵的上游位置,用于通过使用从所述储罐供应的所述液化气而再冷凝所产生的所述蒸发气体的一部分或全部,且其中所述蒸发气体压缩部分在 12 到 45 巴下压缩所述蒸发气体,且其中所述蒸发气体在通过所述蒸发压缩部分加压的压力下

液化。



1. 一种用于将燃料供应到高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统,包含:蒸发气体(BOG)压缩单元,经配置以接收并压缩储罐中产生的BOG;再液化设备,经配置以接收由所述BOG压缩单元压缩的所述BOG并使所述BOG液化;高压泵,经配置以压缩由所述再液化设备产生的所述液化BOG;以及高压气化器,经配置以使由所述高压泵压缩的所述液化BOG气化,且所述燃料供应系统的特征在于:

所述燃料供应系统包含再冷凝器,所述再冷凝器安装在所述高压泵的上游侧,且经配置以通过使用从所述储罐接收的液化气来使所述所产生的BOG的一部分或全部再冷凝;且

所述BOG压缩单元将BOG压缩到约12到45的压力,以使得所述BOG在所述BOG压缩单元的压缩压力下液化。

2. 根据权利要求1所述的燃料供应系统,更包括:增压泵,安装在所述再冷凝器与所述高压泵之间。

3. 根据权利要求1所述的燃料供应系统,更包括:热交换器,经配置以在由所述BOG压缩单元压缩的所述BOG与由所述高压泵压缩的所述液化BOG之间交换热,交换,以使得所述BOG被冷却且供应到所述再液化设备和所述再冷凝器中的至少一者,且所述液化BOG被加热且供应到所述高压气化器。

4. 根据权利要求1所述的燃料供应系统,更包括:潜入泵,位于所述储罐中将以将储存在所述储罐中的LNG供应到所述再冷凝器。

5. 根据权利要求4所述的燃料供应系统,更包括:增压泵,经配置以将由所述潜入泵从所述储罐排出的LNG压缩到等于所述再冷凝器的内压的压力。

6. 根据权利要求1所述的燃料供应系统,其中由所述BOG压缩单元的多级压缩器逐渐压缩或已被所述BOG压缩单元的多级压缩器压缩的BOG通过BOG分支线分流且用于BOG消耗单元中。

7. 根据权利要求1所述的燃料供应系统,更包括:BOG旁通线,从所述BOG压缩单元与所述再液化设备之间的BOG供应线分支,且与所述再冷凝器连接以通过绕过所述再液化设备将由所述BOG压缩单元压缩的所述BOG的一部分或全部直接供应到所述再冷凝器。

8. 根据权利要求7所述的燃料供应系统,其中压力控制阀安装在所述BOG旁通线处以控制所述再冷凝器的压力。

## 将燃料供应到具有再液化装置和高压天然气喷射式发动机的海事结构的系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统,且更明确地说,涉及具有蒸发气体(boil-off gas, BOG)再液化设备和高压天然气喷射式发动机(例如,曼恩电子气体喷射式(MAN Electronic-Gas Injection, ME-GI)发动机)的海事结构(例如,液化天然气(liquefied natural gas, LNG)船)的燃料供应系统,其可将燃料有效地供应到高压天然气喷射式发动机且将 BOG 再液化设备中的能量消耗减到最少。

### 背景技术

[0002] 最近,天然气(例如,液化天然气(LNG)或液化石油气(liquefied petroleum gas, LPG))的消耗量在全世界迅速增长。液化气以气态通过岸上或海上输气管线输送,或在以液化状态储存在液化气船内的同时被输送到遥远的消耗地点。通过将天然气或石油气冷却到低温(在 LNG 的状况下,约  $-163^{\circ}\text{C}$ )而获得液化气(例如,LNG 或 LPG)。由于液化气的体积与气态相比显著减小,因此液化气非常适合于长距离海上输送。

[0003] 液化气船经设计以装载液化气,在海洋上航行,且在岸上消耗地点卸载液化气。为此,液化气船包含可耐受液化气的低温的储罐(也称作“货舱”)。

[0004] 设有能够储存低温液化气的储罐的海事结构的实例可包含例如液化气船以及 LNG 再气化船(LNG RV)等船只或例如 LNG 浮式储存与再气化单元(LNG FSRU)以及 LNG 浮式生产储油装置(LNG FPSO)等结构。

[0005] LNG RV 为装备有 LNG 再气化设施的自行推进的可浮式液化气船,且 LNG FSRU 为储存从远离陆地的海上的 LNG 船卸载的 LNG 且在必要时通过使 LNG 气化来将 LNG 供应到海上消耗地点的海事结构。LNG FPSO 为在海上精炼提取的 LNG、在直接液化之后将 LNG 储存在储罐中且在必要时将 LNG 驳运到 LNG 船的海事结构。如本文中使用的术语“海事结构”为包含例如液化气船以及 LNG RV 等船只与例如 LNG FPSO 以及 LNG FSRU 等结构的概念。

[0006] 由于天然气的液化温度在环境压力下为  $-163^{\circ}\text{C}$  的低温,因此在环境压力下,即使当 LNG 的温度稍高于  $-163^{\circ}\text{C}$  时,LNG 也很可能蒸发。在常规 LNG 船的状况下,即使 LNG 储罐热绝缘,但外部热仍持续传递到 LNG。因此,在 LNG 通过 LNG 船输送期间,LNG 持续蒸发且蒸发气体在 LNG 储罐内产生。

[0007] 所产生的天然气可增大储罐的内部压力且因为船只的摇动而加速天然气的流动,从而引起结构问题。因此,有必要抑制 BOG 的产生。

[0008] 按照惯例,为了抑制液化气船的储罐内的 BOG 的产生,已单独或组合地使用将 BOG 从储罐排出且燃烧 BOG 的方法,将 BOG 从储罐排出、通过再液化设备使 BOG 再液化以及使 BOG 回流到储罐的方法,使用 BOG 作为船只的推进发动机的燃料的方法,以及通过将储罐的内部压力维持在高水准来抑制 BOG 的产生的方法。

[0009] 在装备有 BOG 再液化设备的常规海事结构的状况下,将储罐内部的 BOG 从储罐排出且接着通过再液化设备再液化以便将储罐的压力维持在适当水准。在此状况下,在再液

化过程之前, BOG 被压缩到约 4 到 8 巴的低压且接着被供应到再液化设备。压缩的 BOG 在包含氮制冷循环的再液化设备中通过与冷却到低温的氮的热交换而再液化, 且液化 BOG 回流到储罐。

[0010] BOG 可被压缩到高压以便增大 BOG 再液化效率。然而, 储存在储罐中的 LNG 维持在环境压力状态, 且因此如果液化 BOG 的压力过高, 那么当 BOG 回流到储罐时可产生闪发气体。因此, 尽管再液化效率低, 但 BOG 需要被压缩到约 4 到 8 巴的上述低压。

[0011] 按照惯例, 如图 1 所说明, 将储罐中产生的蒸发气体(即, 蒸发天然气 (natural boil-off gas, NBOG))供应到 BOG 压缩器且压缩到约 4 到 8 巴的低压。接着, 将低压 BOG 供应到使用氮气作为制冷剂的再液化设备(第 10-2006-0123675 号韩国专利申请公开案的详细描述揭露 BOG 在 6.8 巴下被压缩, 且第 10-2001-0089142 号韩国专利申请公开案(相关的第 6, 530, 241 号美国专利)的详细描述揭露 BOG 在 4.5 巴下被压缩)。闪发气体可在 BOG 在再液化设备中液化(即, 液化蒸发气体 (LBOG) 回流到储罐)时产生。因此, BOG 压缩器必须在低压下压缩 BOG。

[0012] 因此, 根据典型的 BOG 处理方法, 储罐中产生的 BOG 通过再液化设备再液化且接着回流到储罐。到现在为止, 用于在 BOG 的再液化之后尽可能抑制闪发气体产生的基本概念不是增大将要再液化的 BOG 的压力。

[0013] BOG 再液化设备使用在第 W02007/117148 号和第 W02009/136793 号国际专利公开案以及第 10-2006-0123675 和第 10-2001-0089142 号韩国专利申请公开案中揭露的氮制冷循环, 且还使用其它混合制冷剂循环。如上所述, 通常, 常规 BOG 再液化设备通过将 BOG 压缩到约 4 到 8 巴的压力来使 BOG 再液化。而且, 此项技术中众所周知的是, 将 BOG 压缩到比上述压力高的压力在技术上是适当的。这是因为如果 BOG 在高压下再液化, 那么在 BOG 稍后回流到储罐之后, BOG 的压力降低到约环境压力, 且因此会产生大量闪发气体 (BOG)。

[0014] 同时, 由于氮制冷循环使用氮气 ( $N_2$ ) 作为制冷剂, 因此液化效率较低。而且, 混合制冷剂循环使用混合有氮气和碳氢化合物气体的制冷剂作为制冷剂, 稳定性较低。

[0015] 更具体地说, 船只的常规海上 LNG 再液化设备或海上设备通过实施涡轮膨胀机式氮逆布雷顿 (Brayton) 循环来使 BOG 再液化。常规岸上 LNG 液化设备通过使用混合制冷剂实施焦耳 - 汤姆逊 (Joule-Thomson) 制冷循环来使天然气液化。用于海上 LNG 液化设备的氮逆布雷顿循环在设备的配置方面相对简单且因此对于受限的船只或海上设备为有利的, 但效率较低。用于岸上 LNG 液化设备的混合制冷剂焦耳 - 汤姆逊制冷循环具有相对高的效率, 但在设备的配置方面较复杂, 这是因为分离器需要用于在气态和液态因为混合制冷剂的特征而共存时分离混合制冷剂。然而, 此再液化方法仍得到广泛使用。

[0016] 此外, 在装备有经配置以储存液化气(例如, LNG)的储罐的海事结构的状况下, 需要用于有效地处理在储罐中持续产生的 BOG 以及抑制闪发气体的产生的方法的扩展性研究和发展。

## 发明内容

[0017] 技术问题

[0018] 本发明的方面涉及燃料供应系统。具体地说, 将液化气储罐中产生的 BOG 用作高压天然气喷射式发动机(例如, ME-GI 发动机)的燃料。将 BOG 压缩到高于常规温度的中压、

再液化且接着供应到高压天然气喷射式发动机。安装再冷凝器,且由再冷凝器将所产生的 BOG 的一部分再冷凝,以减小再液化设备上的负荷。因此,可将燃料有效地供应到高压天然气喷射式发动机,且将再液化设备的能量消耗减到最少。

[0019] 本专利申请案的申请人开发了燃料供应技术,其中 LNG 通过高压泵压缩(泵送)、气化且接着作为燃料来供应,而不是通过气体压缩来进行燃料供应,通过气体压缩来进行燃料供应是由曼恩比维柴油机有限公司(MAN B&W Diesel Ltd)提出以作为用于高压气体喷射式发动机的常规燃料供应方法。本专利申请案的申请人在 2007 年 5 月 8 日在韩国提出专利申请(第 10-2007-0044727 号韩国专利申请案),且此技术对于船主和曼恩比维柴油机有限公司非常珍贵。

[0020] 汉姆沃斯燃气系统有限公司(Hamworthy Gas Systems)对本专利申请案的申请人提出的上述技术略作修改且提出国际专利申请(第 W02009/136793 号国际专利公开案)。然而,即使在开发此技术之后,在此项技术中仍存在关于在液化 BOG 回流到储罐时会产生闪发气体的担忧。因此,当使 BOG 再液化时,在低压范围(4 到 8 巴)中压缩 BOG,且完全不考虑在比上述压力范围高的压力下压缩 BOG。

[0021] 当实际上应用 LNG 的高压泵送的基本技术时,本专利申请案的申请人发现,在开发用于使用在 LNG 储罐中产生的 BOG 作为燃料的技术的过程中,不同于用于通过将 BOG 压缩到 4 到 8 巴的压力来使 BOG 再液化的常规再液化技术,如果在比常规再液化压力高的中压范围(12 到 45 巴)中压缩 BOG 且接着使 BOG 再液化,那么再液化中消耗的能量显著减少。基于此发现,本专利申请案的申请人完成了本发明。

[0022] 而且,本专利申请案的申请人发现,本发明具有以下优点:可减少经配置以将 LNG(所述 LNG 在再液化之后在中压范围中被压缩)压缩到高压的高压泵的功率消耗;以及再液化能量显著减少。此外,本专利申请案的申请人发现,本发明具有无需执行过冷却(subcooling)的优点,这是因为 BOG 在再液化之后由高压泵压缩。

[0023] 本文中首次揭露本发明的目标和效果。

[0024] 技术解决方案

[0025] 根据本发明的实施例,一种用于将燃料供应到高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统,包含:蒸发气体(BOG)压缩单元,经配置以接收并压缩储罐中产生的 BOG;再液化设备,经配置以接收由所述 BOG 压缩单元压缩的所述 BOG 并使所述 BOG 液化;高压泵,经配置以压缩由所述再液化设备产生的所述液化 BOG;以及高压气化器,经配置以使由所述高压泵压缩的所述液化 BOG 气化,且所述燃料供应系统的特征在于,所述燃料供应系统包含再冷凝器,所述再冷凝器安装在所述高压泵的上游侧,且经配置以通过使用从所述储罐接收的液化气来使所述所产生的 BOG 的一部分或全部再冷凝,且所述 BOG 压缩单元将 BOG 压缩到约 12 到 45 巴的压力,以使得所述 BOG 在所述 BOG 压缩单元的压缩压力下液化。

[0026] 所述燃料供应系统可更包含:增压泵,安装在所述再冷凝器与所述高压泵之间。

[0027] 所述燃料供应系统可更包含:热交换器,经配置以在由所述 BOG 压缩单元压缩的所述 BOG 与由所述高压泵压缩的所述液化 BOG 之间交换热,交换,以使得所述 BOG 被冷却且供应到所述再液化设备和所述再冷凝器中的至少一者,且所述液化 BOG 被加热且供应到所述高压气化器。

[0028] 所述燃料供应系统可更包含:潜入泵,位于所述储罐中以将储存在所述储罐中的

LNG 供应到所述再冷凝器。

[0029] 所述燃料供应系统可更包含：增压泵，经配置以将由所述潜入泵从所述储罐排出的 LNG 压缩到等于所述再冷凝器的内压的压力。

[0030] 在所述燃料供应系统中，由所述 BOG 压缩单元的多级压缩器逐渐压缩或已被所述 BOG 压缩单元的多级压缩器压缩的 BOG 可通过 BOG 分支线分流且用于 BOG 消耗单元。

[0031] 所述燃料供应系统可更包含：BOG 旁通线，从所述 BOG 压缩单元与所述再液化设备之间的 BOG 供应线分支，且与所述再冷凝器连接以通过绕过所述再液化设备将由所述 BOG 压缩单元压缩的所述 BOG 的一部分或全部直接供应到所述再冷凝器。

[0032] 在所述燃料供应系统中，压力控制阀可安装在 BOG 旁通线处以控制所述再冷凝器的压力。

[0033] 根据本发明的燃料供应系统的燃料供应方法可减少 BOG 液化能量，这是因为 BOG 通过液化之前的 BOG 与气化之前的液化 BOG 之间的热交换来使液化 BOG 的液化能量再循环。而且，在压缩液化气储罐中产生的 BOG 之前，可通过与压缩 BOG 或再液化设备的氮制冷循环中加热的氮制冷剂的热交换来对储罐中产生的 BOG 进行预热。BOG 的冷热回收或预热可使用第 W02007/117148 号和第 W02009/136793 号国际专利公开案、第 10-2006-0123675 号和第 10-0929250 号韩国专利申请公开案以及第 0929250 号韩国专利中揭露的技术。尽管本揭露中描述了从液化 BOG 进行的冷热回收，但当液化 BOG 的量小于高压天然气喷射式发动机中所需的燃料的量时，可使用储存在 LNG 储罐中的 LNG。在此状况下，冷热可从供应自 LNG 储罐的 LNG 回收。

[0034] 海事结构的实例可包含例如液化气船和 LNG RV 等船只或例如 LNG FSRU 和 LNG FPSO 等结构。

[0035] 燃料供应方法可在燃料供应期间将液化 BOG 全部供应到高压天然气喷射式发动机。也就是说，高压天然气喷射式发动机在海事结构的航行期间在相当长的时间段内可需要比 LNG 储罐中产生的 BOG 的量多的燃料量。在此状况下，将液化 BOG 全部供应到高压天然气喷射式发动机，进而在液化 BOG 回流到 LNG 储罐时防止闪发气体的产生。

[0036] 根据本发明的另一方面，当高压天然气喷射式发动机在海事结构的航行期间需要比 LNG 储罐中产生的 BOG 的量多的燃料量时，可将全部或相当大的量的 BOG 供应到高压天然气喷射式发动机。在此状况下，如果燃料量不足，那么可使用储存在 LNG 储罐中的 LNG 作为燃料。

[0037] 有利效果

[0038] 本发明可提供高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统。具体地说，将液化气储罐中产生的 BOG 用作高压天然气喷射式发动机（例如，ME-GI 发动机）的燃料。将 BOG 压缩到高于常规温度的中压、再液化且接着供应到高压天然气喷射式发动机。安装再冷凝器，且由再冷凝器将所产生的 BOG 的一部分再冷凝，以减小再液化设备上的负荷。

[0039] 根据本发明的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统，可将燃料有效地供应到高压天然气喷射式发动机，且将再液化设备的能量消耗减到最少。

[0040] 与将 BOG 压缩到约 4 到 8 巴的低压的现有技术形成对比，根据本发明的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统将 BOG 压缩到约 12 到 45 巴的中压且接着使其再液化。随着 BOG 的压力增大，液化能量减少。因此，再液化中消耗的液化能量可减少。

[0041] 而且,在根据本发明的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统中,由于 BOG 再液化中的 BOG 的压力为比现有技术的压力高的中压,因此 BOG 的液化点升高。因此,施加到用于再液化的热交换器的热应力减小,且高压气化器的热负荷减小,从而导致设备的大小减小。

[0042] 而且,由于将压缩到中压的液化 BOG 压缩到高压,因此高压泵的功率减小。

[0043] 而且,在根据本发明的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统中,将不可燃混合制冷剂用作再液化设备的制冷剂以用于 BOG 再液化。因此,根据本发明的燃料供应方法比常规氮制冷循环有效,且可比常规混合制冷剂循环安全地使 BOG 再液化。

[0044] 根据燃料供应系统的燃料供应方法可在高压天然气喷射式发动机的操作期间将液化 BOG 全部供应到高压天然气喷射式发动机。也就是说,高压天然气喷射式发动机在海事结构的航行期间在相当长的时间段内可能需要比 LNG 储罐中产生的 BOG 的量多的燃料量。在此状况下,将液化 BOG 全部供应到高压天然气喷射式发动机,进而在液化 BOG 回流到 LNG 储罐时防止闪发气体的产生。而且,可显著减少用于在液化 BOG 回流到 LNG 储罐时减少闪发气体产生的过冷却消耗的能量。汉姆沃斯燃气系统有限公司的常规第三代再液化设备(第 W02007/117148 号国际专利公开案中揭露的技术)将 BOG 压缩到 8 巴的压力且在  $-159^{\circ}\text{C}$  的温度下使 BOG 液化。在此状况下,由于 BOG 的饱和温度为约  $-149.5^{\circ}\text{C}$ ,因此 BOG 过冷却约 9 到  $10^{\circ}\text{C}$ 。BOG 需要过冷却达此度数以便防止在液化 BOG 回流到 LNG 储罐时产生闪发气体。然而,由于液化 BOG 由高压泵压缩,同时液化 BOG 作为高压天然气喷射式发动机的燃料来供应,因此因增大的压力而饱和的 LBOG 可在稍后稳定地维持过度冷却状态。因此,根据本发明,液化 BOG 可通过过度冷却多达  $0.5$  到  $3^{\circ}\text{C}$ ,优选地约  $1^{\circ}\text{C}$  (与对应压力下的饱和温度相比)而液化,且接着作为燃料来供应。

[0045] 而且,在根据本发明的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统中,必要时,可安装 DFDE 以使得在燃料供应到高压天然气喷射式发动机之后剩余的燃料或减压期间产生的闪发气体在用作 DFDE 的燃料的同时被消耗。也就是说,超过高压天然气喷射式发动机所需的燃料量的 BOG 可被压缩到约 4 到 8 巴的压力且从 LNG 储罐直接供应到 DFDE 而无中压再液化。

## 附图说明

[0046] 图 1 为说明根据现有技术的用于通过 BOG 再液化来处理 BOG 的方法的示意性框图。

[0047] 图 2 为说明根据本发明的用于通过燃料供应来处理 BOG 的方法的示意性框图。

[0048] 图 3A 为说明根据本发明的第一实施例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0049] 图 3B 为说明根据本发明的第一实施例的修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0050] 图 4A 为说明根据本发明的不可燃混合制冷剂中含有的成分的冰点和沸点的曲线图。

[0051] 图 4B 为说明碳氢化合物混合制冷剂中含有的成分的冰点和沸点的曲线图。

[0052] 图 4C 为说明根据压缩压力的天然气的液化温度的曲线图。

[0053] 图 5 为说明构成不可燃混合制冷剂的成分的沸点的曲线图。

[0054] 图 6A 到图 6C 为说明 BOG 再液化设备使用氮气制冷循环、不可燃混合制冷剂制冷循环以及单级混合制冷剂(single mixed refrigerant, SMR)制冷循环的状况下的功率消耗的比较的曲线图。

[0055] 图 7A 为说明根据本发明的第二实施例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0056] 图 7B 为说明根据本发明的第二实施例的修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0057] 图 8A 为说明根据本发明的第三实施例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0058] 图 8B 为说明根据本发明的第三实施例的修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0059] 图 9A 为说明根据本发明的第四实施例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0060] 图 9B 为说明根据本发明的第四实施例的修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0061] 图 10A 为说明根据本发明的第五实施例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0062] 图 10B 为说明根据本发明的第五实施例的修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0063] 图 11 为说明根据本发明的第六实施例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0064] 图 12 为说明根据本发明的第六实施例的第一修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0065] 图 13 为说明根据本发明的第六实施例的第二修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0066] 图 14 为说明根据本发明的第六实施例的第三修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

[0067] 图 15 为说明根据本发明的第六实施例的第四修改实例的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统的配置图。

## 具体实施方式

[0068] 下文将参看附图更详细地描述本发明的示范性实施例。然而,本发明可按不同形式体现且不应视为限于本文中阐述的实施例。而是,提供这些实施例以使得本揭露将为详尽且完整的,且将向所属领域的技术人员全面地传达本发明的范围。

[0069] 国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)规定船舶的废气中的氮的氧化物( $\text{NO}_x$ )和硫的氧化物( $\text{SO}_x$ )的排放且还试图规定二氧化碳( $\text{CO}_2$ )的排放。明确地说,氮的氧化物( $\text{NO}_x$ )和硫的氧化物( $\text{SO}_x$ )的规章的颁布是由国际防止船舶造成海洋污染(Prevention of Marine Pollution from Ships, MARPOL)公约在 1997 年提出的。在长达

八年之后,所述公约符合实行要求且在 2005 年 5 月生效。目前,所述规章作为强制规定而为有效的。

[0070] 因此,为了符合此规定,已引入多种方法来减少氮的氧化物( $\text{NO}_x$ )的排放。作为这些方法中的一者,已开发并使用用于 LNG 船的高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)。

[0071] 此 ME-GI 发动机可安装在将 LNG 储存在能够耐受低温的储罐中的同时输送 LNG 的海事结构(例如,LNG 船)中。如本文中使用的术语“海事结构”包含例如 LNG 船和 LNG RV 等船只以及例如 LNG FPSO 和 LNG FSRU 等海上设备。在此状况下,ME-GI 发动机使用天然气作为燃料且取决于其负荷而需要约 150 到 400 巴(绝对压力)的高压以用于气体供应。

[0072] 即使在装备有高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)的海事结构的状况下,仍需要再液化设备以用于处理 LNG 储罐中产生的 BOG。装备有高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)以及用于处理 BOG 的再液化设备两者的常规海事结构可在使 BOG 再液化且将液化 BOG 输送到储罐的同时选择使用 BOG 作为燃料还是使用重质燃油(*heavy fuel oil*, HFO)作为燃料,这取决于燃气和燃油价格的改变以及废气的规章的力度。明确地说,当通过特殊规定的海洋区域时,可通过简单地使 LNG 气化来为海事结构供应燃料。另外,海事结构视为下一代环保发动机且具有高达 50% 的效率。因此,预期在不久的将来,海事结构将用作 LNG 船的主发动机。

[0073] 图 2 为说明根据本发明的燃料供应方法的示意性框图。根据本发明的燃料供应方法,将储罐中产生的 BOG (即,NBOG)供应到 BOG 压缩器且接着压缩到约 12 到 45 巴的中压。接着,将中压 BOG 供应到使用混合制冷剂(例如,不可燃混合制冷剂、单级混合制冷剂(SMR)等)或氮气作为制冷剂的再液化设备。在燃料供应系统中将再液化设备中再液化的 BOG(即,LBOG)压缩到 ME-GI 发动机所需的压力(例如,约 400 巴的高压)且接着将其作为燃料供应到 ME-GI 发动机。根据本发明,由于从再液化设备供应到燃料供应系统的 LBOG 不会回流到储罐,因此可防止闪发气体的产生,而闪发气体的产生是现有技术的问题。因此,BOG 压缩器可将 BOG 压缩到中压。

[0074] 在本说明书中,“高压”范围表示约 150 到 400 巴的压力,这是高压天然气喷射式发动机所需的燃料供应压力。“中压”范围表示约 12 到 45 巴的压力,这是 BOG 压缩器 13 压缩 BOG 的压力。“低压”范围表示约 4 到 8 巴的压力,这是在现有技术中压缩 BOG 以用于供应到再液化设备的压力。

[0075] 与常规低压再液化相比,在中压范围中压缩之后进行再液化导致在使用氮制冷剂和不可燃混合制冷剂的图 6A 和图 6B 的状况下以及使用 SMR 的图 6C 的状况下,再液化能量显著减少。

[0076] 图 6A 和图 6B 所示的数据是使用海西斯处理模型(Hysys process model)(由艾斯本技术有限公司(Aspentech)制造)获得的结果。如从这些结果可见,在汉姆沃斯燃气系统有限公司的使用氮气作为制冷剂的第三代再液化设备(第 W02007/117148 号国际专利公开案中揭露的技术)的状况下,当 BOG 压缩器的压力为 8 巴时,再液化所需的功率消耗为 2,776 千瓦,但当 BOG 压缩器的压力增大到 12 巴时,再液化所需的功率消耗迅速减少到 2,500 千瓦。而且,当 BOG 压缩器的压力为 12 巴或 12 巴以上时,再液化所需的功率消耗逐渐减少。

[0077] 图 6C 的曲线图说明当将碳氢化合物 SMR 用作制冷剂时的功率消耗的变化。如从

图 6C 的结果可见,即使当 SMR 用作制冷剂时,与 BOG 压缩器的压力为 8 巴的状况相比,再液化所需的功率消耗在 BOG 压缩器的压力为 12 巴的状况下仍迅速减少。而且,当 BOG 压缩器的压力为 12 巴或 12 巴以上时,再液化所需的功率消耗逐渐减少。

[0078] 按照液化压力调整 SMR 的组成以实现效率优化,如下文表 1 所示。

[0079] 表 1

|        | 制冷剂组成 (摩尔%) |       |       |       |
|--------|-------------|-------|-------|-------|
|        | 8 巴         | 12 巴  | 30 巴  | 45 巴  |
| [0080] | 氮           | 11.91 | 5.55  | 0.00  |
|        | 甲烷          | 45.11 | 48.54 | 45.81 |
|        | 乙烷          | 17.68 | 18.66 | 22.84 |
|        | 丙烷          | 10.57 | 11.30 | 13.70 |
|        | 异戊烷         | 14.74 | 15.95 | 17.65 |

[0081] 在使用本文中描述的不可燃混合制冷剂(NFMR,下文表 4 的组成)的再液化设备的状况下,与使用氮制冷剂的再液化设备的状况相比,再液化所需的能量进一步减少。

[0082] 根据本发明,BOG 的优选压力范围为约 12 到 45 巴的中压范围。12 巴或小于 12 巴的压力不是优选的,这是因为再液化所需的功率消耗并不大幅减少。而且,高于 45 巴的压力不是优选的,这是因为再液化所需的能量并不大幅减少。

[0083] (第一实施例)

[0084] 图 3A 为说明根据本发明的第一实施例的用于例如具有高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)的 LNG 船等海事结构的燃料供应系统的配置图。图 3A 说明根据本发明的高压天然喷射式发动机的燃料供应系统适用于装备有能够使用天然气作为燃料的 ME-GI 发动机的 LNG 船的实例。然而,根据本发明的高压天然气喷射式发动机的燃料供应系统还可适用于装备有液化气储罐的任何类型的水事结构。海事结构的实例可包含例如 LNG 船和 LNG RV 等船只以及例如 LNG FPSO 和 LNG FSRU 等海上设备。

[0085] 根据本发明的第一实施例的具有高压天然气喷射式发动机的海事结构的燃料供应系统,在液化气储罐 11 中产生且从液化气储罐 11 排出的 NBOG 由 BOG 压缩单元 13 压缩到约 12 到 45 巴的中压(绝对压力)且接着被供应到再液化设备 20。通过接收再液化能量(即,冷热)而在再液化设备 20 中再液化的 LBOG 由高压泵 33 压缩到约 150 到 400 巴的高压且接着被供应到高压气化器 37。接着,LBOG 由高压气化器 37 气化且接着作为燃料供应到高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)。

[0086] 由于由高压泵 33 压缩到高压的液化 BOG(即,LNG)处于超临界压力状态,因此实际上难以区分液相与气相。在本说明书中,在高压状态下将液化 BOG 加热到环境温度(或高压天然气喷射式发动机中所需的温度)称作气化,且经配置以在高压状态下将液化 BOG 加热到环境温度的单元称作高压气化器。

[0087] 储罐包含用于将例如 LNG 的液化气储存在低温状态下的密封且绝热的障壁。然而,储罐无法完全中断从外部传递的热。因此,液化气在储罐 11 中不断蒸发。为了在储罐 11 中将 BOG 的压力维持在适当水准,BOG 通过 BOG 排出线 L1 排出。

[0088] 排出的 BOG 通过 BOG 排出线 L1 供应到 BOG 压缩单元 13。BOG 压缩单元 13 包含一个或一个以上 BOG 压缩器 14 以及经配置以使 BOG 冷却的一个或一个以上中间冷却器 15,

BOG 在由 BOG 压缩器 14 压缩时温度升高。图 3A 中示范性地说明包含五个 BOG 压缩器 14 以及五个中间冷却器 15 的五级 BOG 压缩单元 13。

[0089] 由 BOG 压缩单元 13 压缩的 BOG 通过 BOG 供应线 L2 供应到再液化设备 20。供应到再液化设备 20 的 BOG 在通过再液化设备 20 的冷箱 21 的同时由制冷剂冷却且再液化。再液化设备 20 可具有任何配置,只要再液化设备 20 可使从例如 LNG 等液化气产生的 BOG 液化。

[0090] 通过冷箱 21 中的热交换而再液化的 BOG 在缓冲罐 31 中分离为气态和液态。仅液态的液化 BOG 通过燃料供应线 L3 供应到高压泵 33。多个高压泵 33 (例如,两个高压泵)可并行地安装。

[0091] 高压泵 33 将液化 BOG 压缩到高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)中所需的燃料供应压力。从高压泵 33 供应的液化 BOG 具有约 150 到 400 巴的高压(绝对压力)。

[0092] 图 3A 中示范性说明的再液化设备 20 包含:冷箱 21,经配置以通过与制冷剂的热交换来使 BOG 再液化;一个或一个以上气体-液体制冷剂分离器 22,经配置以将由冷箱 21 加热且部分气化的制冷剂分离为气体制冷剂以及液体制冷剂;一个或一个以上制冷剂压缩机 23,经配置以压缩由气体-液体制冷剂分离器 22 分离的气体制冷剂;制冷剂冷却器 24,经配置以使由制冷剂压缩机 23 压缩的制冷剂冷却;制冷剂膨胀阀 25,经配置以通过使由制冷剂压缩机 23 压缩且由制冷剂冷却器 24 冷却的制冷剂膨胀来使制冷剂的温度下降;以及制冷剂泵 26,经配置以将由气体-液体制冷剂分离器 22 分离的液体制冷剂供应到制冷剂膨胀阀 25。

[0093] 通过制冷剂泵 26 供应到制冷剂膨胀阀 25 的制冷剂可与在通过制冷剂膨胀阀 25 的上游侧的制冷剂冷却器 24 之后供应到制冷剂膨胀阀 25 的制冷剂混合。

[0094] 同时,供应到制冷剂膨胀阀 25 的制冷剂可与在膨胀之前通过冷箱 21 且在膨胀之后具有低温状态的制冷剂交换热。

[0095] 另外,由制冷剂冷却器 24 冷却的制冷剂可被供应到另一气体-液体制冷剂分离器且分离为气体制冷剂以及液体制冷剂。为此,尽管图 3A 中示范性地说明包含两个气体-液体制冷剂分离器 22、两个制冷剂压缩机 23、两个制冷剂冷却器以及两个制冷剂泵 26 的液化设备 20,但本发明不限于此。液化设备 20 中包含的相应组件的数量可取决于其设计而增加或减少。

[0096] (第一实施例的修改实例)

[0097] 图 3B 说明根据本发明的第一实施例的修改实例的燃料供应系统。由于第一实施例的修改实例与第一实施例在 BOG 压缩单元 13 以及液化设备 20 的配置方面部分不同,因此下文将仅描述第一实施例的修改实例与第一实施例之间的差异。

[0098] 图 3B 所说明的第一实施例的修改实例在 BOG 压缩单元 13 包含五个 BOG 压缩器 14 方面与图 3A 所说明的第一实施例实质上相同,但与第一实施例的差异在于在 BOG 压缩单元 13 中包含的第一 BOG 压缩器与第二 BOG 压缩器之间以及第二 BOG 压缩器与第三 BOG 压缩器之间不设置中间冷却器 15。根据本发明,中间冷却器 15 可能设置或可能不设置在每两个 BOG 压缩器 14 之间。

[0099] 而且,根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的液化设备 20 包含:冷箱 21,经配置以在制冷剂与 BOG 之间交换热;压缩单元,经配置以压缩由冷箱 21 加热且至少气化的

制冷剂；以及膨胀单元，经配置以使经压缩制冷剂膨胀以使其温度下降。

[0100] 更具体地说，根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的液化设备 20 包含：冷箱 21，经配置以通过制冷剂与 BOG 之间的热交换来使 BOG 再液化；第一气体-液体制冷剂分离器 22a，经配置以将由冷箱 21 加热且部分气化的制冷剂分离为气体制冷剂以及液体制冷剂；第一制冷剂压缩机 23a，经配置以压缩由第一气体-液体制冷剂分离器 22a 分离的气体制冷剂；第一制冷剂冷却器 24a，经配置以使由第一制冷剂压缩机 23a 压缩的制冷剂冷却；第二气体-液体制冷剂分离器 22b，经配置以第二次将由第一制冷剂冷却器 24a 冷却的制冷剂分离为气体制冷剂以及液体制冷剂；第二制冷剂压缩机 23b，经配置以压缩由第二气体-液体制冷剂分离器 22b 分离的气体制冷剂；第二制冷剂冷却器 24b，经配置以使由第二制冷剂压缩机 23b 压缩的制冷剂冷却；第一制冷剂泵 26a，经配置以将由第一气体-液体制冷剂分离器 22a 分离的液体制冷剂供应到第二制冷剂冷却器 24b；第二制冷剂泵 26b，经配置以将由第二气体-液体制冷剂分离器 22b 分离的液体制冷剂供应到第二制冷剂冷却器 24b；第三气体-液体制冷剂分离器 22c，经配置以第三次将由第二制冷剂冷却器 24b 冷却的制冷剂分离为气体制冷剂以及液体制冷剂；制冷剂膨胀阀 25，经配置以使由第三气体-液体制冷剂分离器 22c 分离的液体制冷剂膨胀以使其温度下降；以及第三制冷剂泵 26c，经配置以将液体制冷剂从第三气体-液体制冷剂分离器 22c 供应到制冷剂膨胀阀 25。

[0101] 从第一气体-液体制冷剂分离器 22a 以及第二气体-液体制冷剂分离器 22b 供应到第二制冷剂冷却器 24b 的液体制冷剂可结合在一起。接着，所结合的制冷剂可与从第二制冷剂压缩机 23b 供应到第二制冷剂冷却器 24b 的气体制冷剂混合且接着被供应到第二制冷剂冷却器 24b。另外，由第三气体-液体制冷剂分离器 22c 分离的气体制冷剂可与由第三制冷剂泵 26c 供应到制冷剂膨胀阀 25 的液体制冷剂混合。此外，供应到制冷剂膨胀阀 25 的制冷剂可与在膨胀之前通过冷箱 21 且在膨胀之后具有低温状态的制冷剂交换热。

[0102] 图 3B 的再液化设备 20 仅为示范性的且不限本发明。必要时，再液化设备的配置可取决于其设计而修改。

[0103] (不可燃混合制冷剂)

[0104] 根据本发明，作为在再液化设备 20 内循环的制冷剂，与现有技术相比，可使用包含 R14 的不可燃混合制冷剂。通过混合多种不可燃制冷剂而制备的不可燃混合制冷剂具有一混合物组成比，以使得即使在压缩到中压的 BOG 再液化时的液化温度下，制冷剂也不会冷凝。

[0105] 使用混合制冷剂的相变的制冷循环的效率比仅使用氮作为制冷剂的氮制冷循环高。常规混合制冷剂具有安全问题，这是因为其中混合了可燃制冷剂。然而，根据本发明的不可燃混合制冷剂具有高安全性，这是因为不可燃混合制冷剂是通过混合不可燃制冷剂制备的。

[0106] 根据本发明的不可燃混合制冷剂可使得有可能将混合制冷剂焦耳-汤姆逊 (Joule-Thomson) 制冷循环应用于海上 LNG 再液化设备。同时，已知混合制冷剂用于常规岸上 LNG 液化设备中。由于此混合制冷剂为爆炸性碳氢化合物 (HC) 混合制冷剂，因此难以处理混合制冷剂。然而，根据本发明的不可燃混合制冷剂不是爆炸性的，这是因为不可燃混合制冷剂包含氩、氢氟烃 (HFC) 制冷剂以及碳氟化合物 (FC) 制冷剂。

[0107] 作为 HFC/FC 制冷剂，可使用下文表 2 中列出的制冷剂。在下文表 2 中，还添加了

氙。

[0108] 表 2

[0109]

| 制冷剂编号  | 化学式                                              | 分子量    | 沸点(NBP) (°C) |
|--------|--------------------------------------------------|--------|--------------|
| Ar     | Ar                                               | 39.95  | -185.9       |
| R14    | CF <sub>4</sub>                                  | 88     | -128.1       |
| R23    | CHF <sub>3</sub>                                 | 70.01  | -82.1        |
| R116   | CF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>                  | 138.01 | -78.2        |
| R41    | CH <sub>3</sub> F                                | 34.03  | -78.1        |
| R32    | CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                   | 52.02  | -51.7        |
| R125   | CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>                 | 120.02 | -48.1        |
| R143a  | CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>                  | 84.04  | -47.2        |
| R161   | CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>                 | 48.06  | -37.1        |
| R218   | CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>  | 188.02 | -36.6        |
| R134a  | CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>                 | 102.03 | -26.1        |
| R152a  | CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>                 | 66.05  | -24          |
| R227ea | CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>               | 170.03 | -15.6        |
| R236fa | CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>  | 152.04 | -1.4         |
| R245fa | CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> | 134.05 | 15.1         |

[0110] 除了上文表 2 中列出的制冷剂之外,可使用通过混合这些制冷剂制备的制冷剂,并对其指派独立制冷剂编号(R400 和 R500)。下文表 3 中列出这些 HFC/FC 混合制冷剂。

[0111] 表 3

| [0112] | 制冷剂编号 | 化学式<br>(质量比)             | 分子量    | 沸点 (NBP) (°C) |
|--------|-------|--------------------------|--------|---------------|
|        | R410A | R32/125 (50/50)          | 72.58  | -51.6         |
|        | R410B | R32/125 (45/55)          | 75.57  | -51.5         |
|        | R507  | R125/143a (50/50)        | 98.86  | -47.1         |
|        | R407B | R32/125/134a (10/70/20)  | 102.94 | -46.8         |
|        | R404A | R125/143a/134a (44/52/4) | 97.6   | -46.6         |
|        | R407A | R32/125/134a (20/40/40)  | 90.11  | -45.2         |
|        | R407C | R32/125/134a (23/25/52)  | 86.2   | -43.8         |
|        | R407E | R32/125/134a (25/15/60)  | 83.78  | -42.8         |
|        | R407D | R32/125/134a (15/15/70)  | 90.96  | -39.4         |

[0113] 另一方面,如图 4A 和图 4B 所说明, HFC/FC 制冷剂可不用作使 LNG 再液化时的制冷剂,这是因为 HFC/FC 制冷剂的冰点比一般温度(-163°C)高。然而,本专利申请案的发明者开发了一种再液化设备,其可基于液化(或再液化)温度随着天然气(或 BOG)的压力增大而升高的知识通过高效、安全的 HFC/FC 混合制冷剂(即,不可燃混合制冷剂)焦耳-汤姆逊制冷循环来使海事结构的 LNG 储罐中产生的 BOG 再液化。换句话说,根据本发明,通过在再液化之前将 BOG 压缩到约 12 到 45 巴的中压, BOG 可在环境压力下在比 BOG 的再液化温度(即,不可燃混合制冷剂的冰点)高的温度下再液化。

[0114] 根据本发明的不可燃混合制冷剂是通过混合多种成分而制备,以使得沸点相等地分布在天然气的液化温度(或 BOG 的再液化温度)与室温之间,且因此可使用宽相变范围。具有类似沸点的制冷剂被归类为五个群组,且根据本发明的不可燃混合制冷剂可通过从每一群组选择一种或一种以上成分来制备。也就是说,根据本发明的不可燃混合制冷剂可通过从五个群组中的每一者选择至少一种成分来制备。

[0115] 如图 5 所说明,群组 I 包含在制冷剂中具有最低沸点的氩(Ar),且群组 II 包含 R14。群组 III 包含 R23、R116 和 R41,且群组 IV 包含 R32、R410A、R410B、R125、R143a、R507、R407B、R404A、R407A、R407C、R407E、R407D、R161、R218、R134a、R152a 和 R227ea。群组 V 包含 R236fa 和 R245fa。

[0116] 当考虑制冷剂的容易供应及其成本时,通过从五个群组中的每一者选择一种或一种以上制冷剂来制备的根据本发明的不可燃混合制冷剂可具有如下文表 4 所示的成分。在效率方面优选的是,确定不可燃混合制冷剂的组成比以使得高温流体(即,BOG)与在热交换器(即,冷箱 21)中与 BOG 交换热的低温流体(即,不可燃混合制冷剂)之间的温度差尽可能维持恒定。

[0117] 表 4

[0118]

| 成分  | 组成(% 摩尔) |
|-----|----------|
| Ar  | 20 到 55  |
| R14 | 15 到 30  |

|        |         |
|--------|---------|
| R23    | 5 到 15  |
| R410a  | 10 到 15 |
| R245fa | 15 到 20 |

[0119] 在使用不可燃混合制冷剂的状况下,与使用氮制冷剂来使 BOG 再液化的现有技术相比,可减少功率消耗(以千瓦为单位)以改进再液化效率。

[0120] 更具体地说,根据本发明,通过在约 12 到 45 巴的中压下压缩 BOG 来实现 BOG 再液化,所述中压相对高于常规再液化设备中使用的 BOG 再液化压力。因此,用于 BOG 再液化的功率消耗可减少。明确地说,在使用具有上述组成的不可燃混合制冷剂的状况下,再液化设备可在 BOG 具有约 12 到 45 巴的压力时维持最高效率。

[0121] 而且,当 BOG 的压力为 12 巴时,再液化温度为约  $-130^{\circ}\text{C}$ 。为了将 BOG 冷却到再液化温度,将不可燃混合制冷剂的温度降低到约  $-155^{\circ}\text{C}$ 。具有上述组成的不可燃混合制冷剂可在低于  $-155^{\circ}\text{C}$  的温度下凝固。因此,如果 BOG 的压力低于 12 巴,那么可能难以使用不可燃混合制冷剂来配置制冷循环。

[0122] 而且,如果 BOG 的压力超过 45 巴,那么可能不是优选的,这是因为与压缩 BOG 所必须的功率消耗的增大相比,液化能量的减少并不大。

[0123] 参看图 6A,由于本发明的特征在于中压,即,约 12 到 45 巴的压力范围(基于 4.3 吨/小时的 BOG),因此本发明对氮制冷剂以及不可燃混合制冷剂两者都具有影响。然而,与使用氮制冷剂的再液化设备相比,根据本发明的使用具有上述组成的不可燃混合制冷剂的再液化设备可进一步将功率减少约 10% 到 20%。

[0124] 图 6B 为说明在常规再液化设备的条件下(即,在再液化设备中使用的制冷剂为氮气( $\text{N}_2$ )且供应到再液化设备的 BOG 的压力为 8 巴的状况下)的所需功率与根据本发明的使用不可燃混合制冷剂(NFMR)的再液化设备的条件下(即,在再液化设备中使用的制冷剂为不可燃混合制冷剂(NFMR)且供应到再液化设备的 BOG 的压力为 12 到 45 巴的状况下)的所需功率的比較的曲线图。参看图 6B,根据本发明的再液化设备可用在使用氮制冷剂的常规再液化设备(制冷循环)中消耗的功率的 50% 到 80% 来操作。因而,由于根据本发明的再液化设备与现有技术相比可用相对低的功率操作,因此发电机的容量可减小,从而使得有可能使发电机小型化。

[0125] 同时,根据本发明的再液化设备使用焦耳-汤姆逊阀作为制冷剂膨胀单元,整个系统与常规氮( $\text{N}_2$ )压缩膨胀器(compander)相比简化且具有成本效益。

[0126] 此外,尽管上文表 2 中未列出,但根据本发明的不可燃混合制冷剂可含有与上文表 2 中列出的成分不同的少量不可燃制冷剂成分。

[0127] (第二实施例)

[0128] 图 7A 为说明根据本发明的第二实施例的具有高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)的海事结构的燃料供应系统的配置图。图 7A 所说明的第二实施例与第一实施例的差异仅在于在再液化设备使压缩到中压的 BOG 再液化之前,燃料供应系统通过与从高压泵 33 供应到高压气化器 37 的 LNG 的热交换来对压缩 BOG 进行预热。因此,以下描述将着重于与第一实施例的差异。

[0129] 如图 7A 所说明,由高压泵 33 压缩到高压的液化 BOG 在供应到高压气化器 37 之前与供应到再液化设备 20 的 BOG 在热交换器中交换热。由于供应到高压气化器 37 的液化 BOG 温度比供应到再液化设备 20 的 BOG 低,因此可在通过热交换器 35 的同时降低供应到再液化设备 20 的 BOG 的温度,从而使得有可能减少再液化设备 20 中的再液化能量。另外,供应到高压气化器 37 的液化 BOG 在通过热交换器 35 的同时被加热,从而使得有可能减少高压气化器 37 中的气化能量。

[0130] 在 BOG 压缩机 13 中压缩的 BOG 通过 BOG 供应线 L2 供应到再液化设备 20。热交换器 35 安装在 BOG 供应线 L2 的中间。如上所述,在热交换器 35 中,较高温度的压缩 BOG 与从高压泵 33 排出的较低温度的液化 BOG 交换热。通过热交换器 35 的同时冷却的 BOG 在通过冷箱 21 的同时由制冷剂冷却且再液化。

[0131] (第二实施例的修改实例)

[0132] 图 7B 为说明根据本发明的第二实施例的修改实例的燃料供应系统的配置图。如第一实施例的修改实例中所描述,第二实施例的修改实例与第二实施例在 BOG 压缩单元 13 以及再液化设备 20 的配置方面部分不同。

[0133] 也就是说,第二实施例的修改实例在 BOG 压缩单元 13 包含五个 BOG 压缩机 14 方面与第二实施例实质上相同,但与第二实施例的差异在于在 BOG 压缩单元 13 中包含的第一 BOG 压缩机与第二 BOG 压缩机之间以及第二 BOG 压缩机与第三 BOG 压缩机之间不设置中间冷却器 15。根据本发明,中间冷却器 15 可能设置或可能不设置在每两个 BOG 压缩机 14 之间。

[0134] 类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20,根据第二实施例的修改实例的再液化设备 20 包含:冷箱 21,经配置以在制冷剂与 BOG 之间交换热;压缩单元,经配置以压缩由冷箱 21 加热且至少部分气化的制冷剂;膨胀单元,经配置以使经压缩制冷剂膨胀以降低其温度;以及气体-液体制冷剂分离器,经配置以分离气体制冷剂与液体制冷剂。

[0135] 明确地说,类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20,根据第二实施例的修改实例的再液化设备 20 包含多个气体-液体制冷剂分离器 22a、22b 和 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂与液体制冷剂混合且接着被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂可在供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前由制冷剂压缩机 23a 和 23b 压缩且由制冷剂冷却器 24a 和 24b 冷却。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂在气体制冷剂被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前,具体地说在气体制冷剂由制冷剂冷却器 24b 冷却之前,与气体制冷剂混合。

[0136] (第三实施例)

[0137] 图 8A 为说明根据本发明的第三实施例的具有高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)的海事结构的燃料供应系统的配置图。图 8A 所说明的第三实施例与第一实施例的差异仅在于燃料供应系统在压缩之前对 BOG 进行预热。因此,以下描述将着重于与第一实施例的差异。

[0138] 如图 8A 所说明,在根据本发明的第三实施例的具有高压天然气喷射式发动机的

海事结构的燃料供应系统中,液化气储罐 11 中产生且从液化气储罐 11 排出的蒸发天然气(NBOG)由 BOG 压缩单元 13 压缩到约 12 到 45 巴的中压。压缩 BOG 在供应到再液化设备 20 之前被供应到安装在 BOG 压缩单元 13 的上游侧的 BOG 预热器 41。由 BOG 压缩单元 13 压缩到约 12 到 45 巴且由中间冷却器 15 冷却到约 40℃的 BOG 通过与从液化气储罐 11 排出到 BOG 预热器 41 的低温 BOG 的热交换而冷却,且接着被供应到再液化设备 20。

[0139] 根据第三实施例,将供应到再液化设备 20 的 BOG 的温度可通过 BOG 预热器而降低,以使得冷箱 21 上的热负荷可减小。而且,供应到 BOG 压缩单元 13 的低温 BOG 以及由 BOG 压缩单元 13 压缩的较高温度的 BOG 在位于 BOG 压缩单元 13 的上游侧的 BOG 预热器 41 中彼此交换热,以使得供应到 BOG 压缩单元的 BOG 的温度可升高且 BOG 压缩单元(即,BOG 压缩机)的入口温度可维持恒定。

[0140] 如在根据第一实施例的燃料供应系统中,由 BOG 压缩单元 13 压缩且接着通过 BOG 预热器 41 的 BOG 被供应到再液化设备 20。在再液化设备 20 中通过再液化能量(即,冷热)再液化的液化 BOG (LBOG)被高压泵 33 压缩到约 150 到 400 巴的高压且接着被供应到高压气化器 37。由高压气化器 37 气化的 BOG 作为燃料供应到高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)。

[0141] (第三实施例的修改实例)

[0142] 图 8B 为说明根据本发明的第三实施例的修改实例的燃料供应系统的配置图。第三实施例的修改实例与第三实施例在再液化设备 20 的配置方面部分不同。

[0143] 也就是说,类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20,根据第二实施例的修改实例的再液化设备 20 包含:冷箱 21,经配置以在制冷剂与 BOG 之间交换热;压缩单元,经配置以压缩由冷箱 21 加热且至少部分气化的制冷剂;膨胀单元,经配置以使经压缩制冷剂膨胀以降低其温度;以及气体-液体制冷剂分离器,经配置以分离气体制冷剂与液体制冷剂。

[0144] 明确地说,类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20,根据第三实施例的修改实例的再液化设备 20 包含多个气体-液体制冷剂分离器 22a、22b 和 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂与液体制冷剂混合且接着被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂可在供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前由制冷剂压缩机 23a 和 23b 压缩且由制冷剂冷却器 24a 和 24b 冷却。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂在气体制冷剂被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前,具体地说在气体制冷剂由制冷剂冷却器 24b 冷却之前,与气体制冷剂混合。

[0145] (第四实施例)

[0146] 图 9A 为说明根据本发明的第四实施例的具有高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)的海事结构的燃料供应系统的配置图。图 9A 所说明的第四实施例与第三实施例的差异在于燃料系统更包含经配置以处理过量 BOG 的过量 BOG 消耗单元(例如,双燃料柴油机(DFDE))以及稳定燃料供应单元(例如,LNG 供应线)。因此,以下描述将着重于与第三实施例的差异。

[0147] 本文中,过量 BOG 为比高压天然气喷射式发动机所需的液化 BOG 的量多的 BOG。过

量 BOG 可在大量 BOG 产生时产生,即使当高压天然气喷射式发动机处于操作中也如此。而且,过量 BOG 可在高压天然气喷射式发动机低速操作或不操作时(例如,当进入港口或通过运河时)产生。

[0148] 在根据本发明的第四实施例的具有高压天然气喷射式发动机的海事结构的燃料供应系统中,当高压天然气喷射式发动机上的负荷减小时,或当产生过量 BOG 时,过量 LBOG 通过在缓冲罐 31 的后端从燃料供应线 L3 分支的 LBOG 回流线 L4 处安装的 LBOG 膨胀阀 51 减压。包含在减压过程中产生的闪发气体的 LBOG 由气体-液体分离器分离为液体成分(LBOG)以及气体成分(闪发气体),且液体成分通过 LBOG 回流线 L4 回流到储罐 11。

[0149] 具体地说,通过 LBOG 膨胀阀减压且包含闪发气体的 LBOG 被供应到气体-液体 LBOG 分离器 53 且由气体-液体 LBOG 分离器 53 分隔成液体成分以及气体成分。由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离的气体成分(即,闪发气体)作为燃料通过燃料气体供应线 L6 供应到可安装在海事结构中用于发电的过量 BOG 消耗单元(例如,DFDE)。供应到 DFDE 的燃料气体的压力可由安装在气体-液体 LBOG 分离器 53 的下游侧在燃料气体供应线 L6 的中间的压力控制阀控制。而且,通过安装在燃料气体供应线 L6 的中间的燃料气体加热器 55,燃料气体的温度可加热到 DFDE 所需的温度。由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离的液体成分通过 LBOG 回流线 L4 回流到储罐。

[0150] 由于 DFDE 的燃料气体供应压力大致为约 5 到 8 巴,因此由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离的液体成分可仍比环境压力高。在此状况下,由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离的液体成分(即,LBOG)另外通过另一 LBOG 膨胀阀 52 减压。减压液体成分被供应到另一气体-液体 LBOG 分离器 54 且由气体-液体 LBOG 分离器 54 分离为液体成分(LBOG)以及气体成分(闪发气体)。由气体-液体 LBOG 分离器 54 分离的环境压力液体成分通过 LBOG 回流线 L4 回流到储罐 11。由气体-液体 LBOG 分离器 54 分离的气体成分可被供应到充当另一过量 BOG 消耗单元的气体燃烧单元(gas combustion unit,GCU)且由所述 GCU 消耗。

[0151] 另一方面,当不充分燃料供应到 DFDE 时,额外燃料可通过分支线 L5 供应到 DFDE,所述分支线 L5 从将燃料供应到高压天然气喷射式发动机(例如,ME-GI 发动机)的燃料供应线 L3 分支且与将燃料供应到 DFDE 的燃料气体供应线 L6 连接。压力下降阀安装在分支线 L5 处。

[0152] 而且,当 BOG 再液化设备不操作或当储罐 11 中产生少量 BOG 时,储存在储罐 11 中的 LNG 可通过 LNG 供应线 L7 以及安装在储罐 11 中的 LNG 供应泵 57 供应到缓冲罐 31。

[0153] 以此方式,DFDE 充当闪发气体处理单元,其可处理可在 LBOG 回流到储罐 11 的过程中因为压力差而从 LBOG 产生的闪发气体。

[0154] 尽管图式中未说明,但由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离的气体成分可被供应到例如燃气轮机或锅炉等消耗单元而不是 DFDE 且用作所述消耗单元的燃料。而且,气体成分可被供应到气体排出装置或气体燃烧装置(例如,火炬塔)且由所述气体排出装置或气体燃烧装置处理,其中,所述气体排出装置将天然气排到大气中,而所述气体燃烧装置在大气中燃烧天然气。在此状况下,DFDE、燃气轮机、锅炉、气体排出装置或火炬塔可包含在过量 BOG 消耗单元(或闪发气体处理单元)中,且供应到过量 BOG 消耗单元的气体成分可由燃料气体加热器 55 加热。

[0155] 当由 BOG 压缩单元 13 压缩到约 12 到 45 巴的中压且接着由再液化设备 20 液化的

BOG 不完全由高压天然气喷射式发动机(例如, ME-GI 发动机)消耗时, 中压的液化 BOG 需要回流到储罐 11。由于储罐 11 处于环境压力的状态中, 因此液化 BOG 的压力需要在液化 BOG 被供应到储罐之前减小。然而, 闪发气体在减小压力的过程中产生。因此, 本发明的发明者发明了包含能够处理闪发气体的过量 BOG 消耗单元的燃料供应系统。本发明提供包含能够处理闪发气体的过量 BOG 消耗单元的燃料供应系统。因此, 压缩到约 12 到 45 巴的中压的 BOG 可被供应到再液化设备。因此, 再液化中的能量消耗可减少。

[0156] (第四实施例的修改实例)

[0157] 图 9B 为说明根据本发明的第四实施例的修改实例的燃料供应系统的配置图。第四实施例的修改实例与第四实施例在再液化设备 20 的配置方面部分不同且与第四实施例的差异还在于燃料供应系统通过形成 BOG 压缩单元 13 或其下游侧的末端分支的线来处理过量 BOG。

[0158] 类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20, 根据第四实施例的修改实例的再液化设备 20 包含: 冷箱 21, 经配置以在制冷剂与 BOG 之间交换热; 压缩单元, 经配置以压缩由冷箱 21 加热且至少部分气化的制冷剂; 膨胀单元, 经配置以使经压缩制冷剂膨胀以降低其温度; 以及气体-液体制冷剂分离器, 经配置以分离气体制冷剂与液体制冷剂。

[0159] 明确地说, 类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20, 根据第四实施例的修改实例的再液化设备 20 包含多个气体-液体制冷剂分离器 22a、22b 和 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂与液体制冷剂混合且接着被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂可在供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前由制冷剂压缩机 23a 和 23b 压缩且由制冷剂冷却器 24a 和 24b 冷却。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂在气体制冷剂被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前, 具体地说在气体制冷剂由制冷剂冷却器 24b 冷却之前, 与气体制冷剂混合。

[0160] 而且, 在根据第四实施例的修改实例的燃料供应系统中, 当产生过量 BOG 时, 过量 BOG 可通过从 BOG 压缩单元 13 分支的第二分支线 L8 供应到充当过量 BOG 消耗单元的 DFDE。在此状况下, 由于 BOG 由 BOG 压缩单元 13 中包含的中间冷却器 15 冷却到约 40°C, 因此可省略经配置以控制供应到 DFDE 的 BOG 的温度的独立加热器。

[0161] 或者, 过量 BOG 可通过从 BOG 压缩单元 13 的后端分支的第三分支线 L9 供应到充当另一过量 BOG 消耗单元的燃气轮机。同样, 在此状况下, 可省略经配置以控制供应到燃气轮机的 BOG 的温度的独立单元。

[0162] 而且, 不同于根据第四实施例的燃料供应系统, 根据第四实施例的修改实例的燃料供应系统包含安装在 LBOG 回流线 L4 处的 LBOG 膨胀阀以及气体-液体 LBOG 分离器。然而, 必要时, 类似于根据第四实施例的燃料供应系统, 根据第四实施例的修改实例的燃料供应系统可更包含另一 LBOG 膨胀阀 52 以及另一气体-液体 LBOG 分离器 54。

[0163] (第五实施例)

[0164] 图 10A 为说明根据本发明的第五实施例的具有高压天然气喷射式发动机(例如, ME-GI 发动机)的海事结构的燃料供应系统的配置图。图 10A 所说明的第五实施例与第三

实施例的差异在于燃料供应系统更包含经配置以消耗过量 BOG 的过量 BOG 消耗单元(例如, GCU)以及稳定燃料供应单元(例如, LNG 供应线)。而且, 第五实施例与第三实施例的差异在于燃料供应系统包含经配置以分支且在再液化之前消耗 BOG 的一部分以防止产生过量 BOG 的单元(例如, DFDE)。因此, 以下描述将着重于与第三实施例的差异。

[0165] 在根据本发明的第五实施例的具有高压天然气喷射式发动机的海事结构的燃料供应系统中, 当高压天然气喷射式发动机上的负荷减小时, 或当预期将因为产生大量 BOG 而产生过量 LBOG 时, 已被 BOG 压缩单元 13 压缩的或正被压缩的 BOG 通过分支线分流到过量 BOG 消耗单元。

[0166] 也就是说, 过量 BOG 可通过从 BOG 压缩单元 13 分支的第二分支线 L8 供应到充当 BOG 消耗单元的 DFDE。在此状况下, 由于 BOG 由 BOG 压缩单元 13 中包含的中间冷却器 15 冷却到约 40°C, 因此可省略经配置以控制供应到 DFDE 的 BOG 的温度的独立加热器。

[0167] 或者, 过量 BOG 可通过从 BOG 压缩单元 13 的后端分支的第三分支线 L9 供应到充当另一过量 BOG 消耗单元的燃气轮机。同样, 在此状况下, 可省略经配置以控制供应到燃气轮机的 BOG 的温度的独立单元。

[0168] 另一方面, 即使当供应到再液化设备 20 的 BOG 的量减少时, 如果作为燃料来供应的 BOG 的量多于高压天然气喷射单元所需的 BOG 的量, 那么用与第四实施例中相同的方式处理过量 BOG。

[0169] 也就是说, 过量 LBOG 通过在缓冲罐 31 的后端从燃料供应线 L3 分支的 LBOG 回流线 L4 处安装的 LBOG 膨胀阀 51 来减压。包含在减压过程中产生的闪发气体的 LBOG 由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离为液体成分(LBOG)以及气体成分(闪发气体), 且液体成分通过 LBOG 回流线 L4 回流到储罐 11。由气体-液体 LBOG 分离器 53 分离的气体成分(即, 闪发气体)通过燃料气体供应线 L6 作为燃料而供应到充当过量 BOG 燃烧单元的 GCU。

[0170] 另一方面, 过量 BOG 可另外通过分支线 L5 供应到 GCU, 所述分支线 L5 从将燃料供应到高压天然气喷射式发动机(例如, ME-GI 发动机)的燃料供应线 L3 分支且与燃料气体供应线 L6 连接。压力下降阀安装在分支线 L5 处。

[0171] 而且, 如在第四实施例中, 当 BOG 再液化设备不操作或当储罐 11 中产生少量 BOG 时, 储存在储罐 11 中的 LNG 可通过 LNG 供应线 L7 以及安装在储罐 11 中的 LNG 供应泵 57 供应到缓冲罐 31。

[0172] 在第四和第五实施例中, 经配置以处理所产生的闪发气体的 DFDE (在第四实施例中)和 GCU (在第五实施例中)以及经配置以在再液化之前消耗过量 BOG 以便防止闪发气体产生的 DFDE (在第四实施例中)和 GCU (在第五实施例中)可统称为闪发气体抑制单元, 这是因为其可抑制闪发气体的产生。所有这些单元也可称为过量气体消耗单元, 这是因为其可消耗比高压天然气喷射式发动机所需的燃料的量多的过量 BOG。

[0173] (第五实施例的修改实例)

[0174] 图 10B 为说明根据本发明的第五实施例的修改实例的燃料供应系统的配置图。第五实施例的修改实例与第五实施例在再液化设备 20 的配置方面部分不同。

[0175] 类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20, 根据第五实施例的修改实例的再液化设备 20 包含: 冷箱 21, 经配置以在制冷剂与 BOG 之间交换热; 压缩单元, 经配置以压缩由冷箱 21 加热且至少部分气化的制冷剂; 膨胀单元, 经配置以使经

压缩制冷剂膨胀以降低其温度；以及气体-液体制冷剂分离器，经配置以分离气体制冷剂与液体制冷剂。

[0176] 明确地说，类似于根据图 3B 所说明的第一实施例的修改实例的再液化设备 20，根据第五实施例的修改实例的再液化设备 20 包含多个气体-液体制冷剂分离器 22a、22b 和 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂与液体制冷剂混合且接着被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂可在供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前由制冷剂压缩机 23a 和 23b 压缩且由制冷剂冷却器 24a 和 24b 冷却。由设置在上游侧的气体-液体制冷剂分离器 22a 和 22b 分离的气体制冷剂在气体制冷剂被供应到设置在最下游侧的气体-液体制冷剂分离器 22c 之前，具体地说在气体制冷剂由制冷剂冷却器 24b 冷却之前，与气体制冷剂混合。

[0177] (第六实施例)

[0178] 图 11 为说明根据本发明的第六实施例的具有高压天然气喷射式发动机(例如，ME-GI 发动机)的海事结构的燃料供应系统的配置图。图 11A 所说明的第六实施例与第一实施例到第五实施例的差异在于燃料供应系统使用再冷凝器，而不是缓冲罐。

[0179] 在根据本发明的第六实施例的具有高压天然气喷射式发动机的海事结构的燃料供应系统中，液化气储罐 110 中产生且从液化气储罐 110 排出的蒸发天然气(NBOG)由 BOG 压缩单元 113 压缩到约 12 到 45 巴的中压，且接着被供应到再液化设备 120。在再液化设备 120 中通过再液化能量(即，冷热)再液化的液化 BOG (LBOG)被高压泵 133 压缩到约 150 到 400 巴的高压且接着被供应到高压气化器 137。由高压气化器 137 气化的 BOG 作为燃料供应到高压天然气喷射式发动机(例如，ME-GI 发动机)。

[0180] 储罐包含用于将例如 LNG 的液化气储存在低温状态下的密封且绝热的障壁。然而，储罐无法完全中断从外部传递的热。因此，液化气在储罐 110 中不断蒸发。为了在储罐 110 中将 BOG 的压力维持在适当水准，BOG 通过 BOG 排出线 L11 排出。

[0181] 排出的 BOG 通过 BOG 排出线 L11 供应到 BOG 压缩单元 113。BOG 压缩单元 113 包含至少一个 BOG 压缩机 114。尽管未说明，但 BOG 压缩单元 113 可包含至少一个中间冷却器，所述中间冷却器经配置以冷却因正由 BOG 压缩机 114 压缩而加热的 BOG。图 11 说明三级 BOG 压缩单元 113 包含三个 BOG 压缩机 114。

[0182] 由 BOG 压缩单元 113 压缩的 BOG 通过 BOG 供应线 L12 供应到再液化设备 120。供应到再液化设备 120 的 BOG 在通过再液化设备 120 的主低温热交换器 121 (即，冷箱)的同时由制冷剂冷却且再液化。

[0183] 再液化设备 120 可具有可使从例如 LNG 等液化气产生的 BOG 再液化的任何配置。举例来说，再液化设备 120 可为使用不可燃混合制冷剂的再液化系统，如第一实施例到第五实施例及其修改实例中所描述。而且，再液化设备 120 可为使用氮制冷剂的常规再液化系统。举例来说，再液化设备 120 可为第 W02007/117148 号和第 W02009/136793 号国际专利公开案中揭露的再液化设备中的任一者。

[0184] 在冷箱 121 中通过热交换再液化的 BOG 被供应到再冷凝器 131，且暂时储存在再冷凝器 131 中。根据此实施例，液化 BOG 和从液化气储罐 110 供应的液化气(即，LNG)暂时储存在再冷凝器 131 中，且从液化气储罐 110 供应到再液化设备 120 的 BOG 的一部分或全部

旁通到再冷凝器 131 且由再冷凝器 131 再冷凝。因此, BOG 到再液化设备 120 中的流入得以减少或移除, 进而改进总系统效率。如下文详细描述, 再冷凝器 131 通过使用来自以下各者中的一者的冷热来再冷凝所产生的 BOG 的一部分或全部: 由再液化设备 120 再液化且接着被供应到再冷凝器 131 并暂时储存在再冷凝器 131 中的液化 BOG; 以及从储罐 110 直接供应到再冷凝器 131 的液化气(即, LNG)。

[0185] 类似于上述实施例中的缓冲罐, 再冷凝器 131 也可分离气体成分和液体成分。因此, 暂时储存在再冷凝器 131 中的液化气分离为气态和液态, 且仅气态液化气通过气体供应线 L13 供应到高压泵 133。多个高压泵 133 (例如, 两个高压泵 133) 可并行地安装。

[0186] 高压泵 133 将液化气压缩到高压天然气喷射式发动机(例如, ME-GI 发动机)所需的燃料供应压力。从高压泵 133 输出的液化气具有约 150 到 400 巴的高压。

[0187] 为了在高压泵 133 中提供足够净正吸入压头(Net Positive Suction Head, NPSH), 必要时, 增压泵 132 可在燃料供应线 L13 上安装在高压泵 133 与再冷凝器 131 之间。

[0188] 且, 如在第二实施例中, 系统可经配置以使得由高压泵 133 压缩到高压的液化气, 在供应到高压气化器 137 之前, 在热交换器 135 中与从再液化设备 120 供应的 BOG 交换热。供应到高压气化器 137 的液化气的温度低于供应到再液化设备 120 的 BOG 的温度。因此, 供应到再液化设备 120 的 BOG 可在通过热交换器 135 的同时被冷却, 以使得再液化设备 120 中的再液化能量可减少。而且, 供应到高压气化器 137 的液化气可在通过热交换器 135 的同时被加热, 以使得高压气化器 137 中的气化能量可减少。

[0189] 必要时, 由再冷凝器 131 再冷凝且暂时储存在再冷凝器 131 中的液化 BOG 可通过 LBOG 回流线 L14 回流到储罐 110。尽管图 11 未说明, 但参看图 9A 到图 10B 所描述的第四实施例和第五实施例及其修改实例的膨胀阀和气体-液体分离器可安装在 LBOG 回流线 L14 处。

[0190] 然而, 根据第六实施例的燃料供应系统, 储罐中产生的 BOG 在海事结构的航行期间的大部分时间段内全部用作高压天然气喷射式发动机的燃料。因此, 可移除通过 LBOG 回流线 L14 回流到储罐 110 的液化气。LBOG 回流线 L14 可用以仅在异常状况下使 LBOG 从再冷凝器 131 回流到储罐 110, 在所述异常状况中, 高压天然气喷射式发动机的功率消耗远小于储罐中产生的 BOG 的量, 例如海事结构被牵引到码头旁的状况, 海事结构通过运河的状况, 以及海事结构低速航行的状况。LBOG 回流线 L14 还可用以使在再冷凝器 131 的故障或维护期间留在再冷凝器 131 中的 LBOG 回流。

[0191] 根据此实施例, LBOG 全部可在海事结构的航行期间的大部分时间段内用于发动机而不回流到储罐。在此状况下, 由于移除回流的 LBOG 本身, 因此可防止可在 LBOG 回流到储罐 110 时因为压力差而引起的闪发气体的产生。在本说明书中, 表达“移除闪发气体”意味着消耗所产生的闪发气体以防止闪发气体被供应到储罐 110 中, 且还意味着防止液化 BOG 回流到储罐以阻隔并防止可由回流的 LBOG 引起的闪发气体本身的产生。

[0192] 且, 句子“高压天然气喷射式发动机的燃料消耗大于或小于储罐中产生的 BOG 的量”中的表述“高压天然气喷射式发动机的燃料消耗”意味着高压天然气喷射式发动机的燃料消耗和海事结构中使用 BOG 作为燃料的其它发动机(例如, DFDE 和燃气轮机)的燃料消耗的总和。当各种发动机中仅高压天然气喷射式发动机使用 BOG 作为燃料时, 表述“高压天然

气喷射式发动机的燃料消耗”意味着仅高压天然气喷射式发动机的燃料消耗。

[0193] 当储罐 110 中产生的 BOG 的量小于高压天然气喷射式发动机所需的燃料的量时,储存在储罐 110 中的 LNG 可通过 LNG 供应线 L17 直接供应到再冷凝器 131。潜入泵 157 安装在 LNG 供应线 L17 的一端,即,位于储罐中的 LNG 供应线 L17 的起点,以使得储存在储罐 110 中的 LNG 可直接供应到再冷凝器 131。根据此实施例,由于再冷凝器 131 (或第一实施例到第五实施例及其修改实例中的缓冲罐 31)的内压实质上等于由 BOG 压缩单元 130 压缩到约 12 到 45 巴的中压的 BOG 的压力,因此仅使用潜入泵 157 以将在约环境压力下储存在储罐 110 中的液化气压缩到中压可能存在限制。因此,可优选的是,增压泵 158 安装在 LNG 供应线 L17 的中间,以将由潜入泵 157 排出到储罐的外部的液化气压缩到实质上等于再冷凝器 131 (或缓冲罐)的内压的压力。

[0194] 当储罐 110 中产生的 BOG 的量大于高压天然气喷射式发动机所需的燃料的量且因此过量 LBOG 预期会产生时,由 BOG 压缩单元 113 逐渐压缩或已被 BOG 压缩单元 113 压缩的 BOG 通过 BOG 分支线 L18 分流且用于 BOG 消耗单元中。BOG 消耗单元可为相比 ME-GI 发动机可使用较低温天然气的燃气轮机或 DFDE。

[0195] 如上所述,为了减小再液化设备 120 上的负荷或完全停止再液化设备 120 的操作,根据此实施例的燃料供应系统可包含 BOG 旁通线 L21,所述 BOG 旁通线 L21 从 BOG 供应线 L12 分支以通过绕过再液化设备 120 将由 BOG 压缩单元压缩的 BOG 的一部分或全部供应到再冷凝器 131。

[0196] 具体地说,可优选的是,BOG 旁通线 L21 从 BOG 供应线 L12 的热交换器 135 的下游侧分支且与再冷凝器 131 连接。必要时,压力控制阀 161 可安装在 BOG 旁通线 L21 处以控制再冷凝器 131 的压力。

[0197] 当储罐 110 中产生的 BOG 的量小于高压天然气喷射式发动机所需的燃料的量时,储罐 110 中的 LNG 可被供应到再冷凝器 131 以补充不足的燃料量。在此状况下,被供应到再液化设备 120 的 BOG 的一部分通过 BOG 旁通线 L21 供应到再冷凝器 131,且通过与 LNG 混合来再冷凝。因此,再液化设备 120 上的负荷可减小。

[0198] 下文中,参看图 11,将描述在燃料供应系统安装在(例如)LNG 船中时使用再冷凝器 131 以操作第六实施例的燃料供应系统的方法。

[0199] 第六实施例的燃料供应系统包含再冷凝器 131。因此,储罐 110 中产生的全部 BOG 未供应到再液化设备 120 的冷箱 121,且所产生的 BOG 的至少一部分旁通到再冷凝器 131。因此,具有较大能量消耗的再液化设备 120 上的负荷可减小,或再液化设备 120 的操作可在一些状况下完全停止。

[0200] 在储罐 110 排空的压载航行期间,所产生的 BOG 的量相对较小。在此状况下,高压天然气喷射式发动机所需的燃料的量无法仅通过储罐 110 中自然产生的 BOG 来满足。因此,储存在储罐 110 中的 LNG 通过 LNG 供应线 L17 直接供应到再冷凝器 131。

[0201] 并且,从储罐 110 排出的 BOG 由 BOG 压缩单元 113 压缩到约 12 到 45 巴的中压,且由热交换器 135 冷却。所冷却的 BOG 全部通过 BOG 旁通线 L21 供应到再冷凝器 131。

[0202] 由于在压载航行期间产生的 BOG 的量较小,因此所产生的 BOG 全部可被供应到再冷凝器 131 且由再冷凝器 131 再冷凝。也就是说,由于储罐 110 中产生的 BOG 在压载航行期间的大部分时间段内全部由再冷凝器 131 再冷凝,因此再液化设备 120 的操作可停止。然

而,在高压天然气喷射式发动机低速操作或停止操作的状况(例如,海事结构在压载航行期间正被牵引的状况)下,高压天然气喷射式发动机不消耗燃料或消耗极少量的燃料。因此,储罐 110 中产生的 BOG 全部无法再冷凝并用作燃料,且所产生的 BOG 的一部分可由再液化设备 120 再液化。然而,这是压载航行期间的极异常的状况。

[0203] 由于通过 LNG 供应线 L17 供应到再冷凝器 131 的 LNG 被过冷却,因此通过 BOG 旁通线 L21 供应的 BOG 全部可通过在与再冷凝器 131 中过冷却的 LNG 混合的同时从 LNG 接收冷热来冷凝。

[0204] 根据此实施例的燃料供应系统,压载航行期间产生的 BOG 全部可在再冷凝器 131 中再冷凝且用作高压天然气喷射式发动机的燃料。因此,无 LBOG 回流到储罐 110。

[0205] 并且,由于所产生的 BOG 全部可在再冷凝器 131 中处理,因此因较大功率消耗而使用许多能量的再液化设备 120 根本无法操作。因此,可节省相当大量的能量。

[0206] 另一方面,当储罐 110 在航行期间满载气体货物时,所产生的 BOG 的量相对较大。在此状况下,由于储罐 110 中自然产生的 BOG 无法全部由再冷凝器 131 处理,因此再液化设备 120 操作以使 BOG 再液化。必要时,所产生的 BOG 的一部分通过 BOG 旁通线 L21 旁通到再冷凝器 131 以减小再液化设备 120 上的再液化负荷,进而节省能量。

[0207] 将 BOG 冷却到低于饱和温度的过冷却温度以便在再液化设备 120 中过冷却 BOG 可能低效。然而,当 BOG 被过冷却到饱和温度时,饱和的 LBOG 可在沿着管道通过的同时再气化。因此,可优选的是,在再液化设备 120 中使 BOG 液化时,将 BOG 冷却到对应压力下的过冷却温度。

[0208] 在第 W02007/117148 号和第 W02009/136793 号国际专利公开案中揭露的常规再液化设备的状况下,由于由再液化设备再液化的 LBOG 回流到 LNG 储罐,因此根据 LNG 储罐的内部温度(约  $-163^{\circ}\text{C}$ ),BOG 过冷却到远低于约 4 到 8 巴的压力下的饱和温度的温度。

[0209] 然而,根据本发明的燃料供应系统,由于 LBOG 是作为高压天然气喷射式发动机的燃料来供应和使用,因此 BOG 被压缩到约 12 到 45 巴的压力且再液化设备用比对应压力下的饱和温度仅低约  $1^{\circ}\text{C}$  的再液化温度操作。

[0210] 根据本发明,由于由再液化设备再液化的 LBOG 不回流到储罐,因此不必考虑储存在储罐中的 LNG 的温度和压力。在常规方法中,用于将 LBOG 输送到储罐的管道相对较长。然而,在本发明的状况下,由于用于在维持 LBOG 的过冷却状态的同时将 LBOG 输送到储罐的管道相对较短,因此不必将 BOG 过冷却到远低于饱和温度的温度。

[0211] 因此,本发明在将 BOG 的液化温度设定为稍低于饱和温度的温度(例如,过冷却约  $0.5^{\circ}\text{C}$  到  $3^{\circ}\text{C}$ ,优选约  $1^{\circ}\text{C}$ )的同时操作再液化设备 120,进而减少再液化设备的功率消耗。

[0212] 在此状况下,安装在旁通线 L21 上的压力控制阀 161 受到开/关控制,以使得在热交换器 135 中通过热交换冷却的 BOG 可流动到再冷凝器 131 中。因此,再冷凝器 131 的压力可适当地受到控制。

[0213] 根据此实施例,甚至当 BOG 过冷却到比饱和温度低约  $1^{\circ}\text{C}$  的温度且接着被供应到再冷凝器 131 时,BOG 在作为燃料而供应到高压天然气喷射式发动机的同时由增压泵 132 和高压泵 133 压缩。因此,饱和 LBOG 可因为温度升高而稳定地维持过冷却状态。

[0214] 与常规燃料供应系统相比,根据第一实施例到第六实施例及其修改实例的具有高压天然气喷射式发动机的海事结构的燃料供应系统具有以下优点。

[0215] 一般来说, BOG 可被压缩到高压以便增大 BOG 再液化效率。然而, 在常规方法中, BOG 由再液化设备再液化且回流到储罐, 且储存在储罐中的 LNG 维持在环境压力状态。因此, 如果液化 BOG 的压力过高, 那么闪发气体可在 BOG 回流到储罐时产生。因此, 尽管再液化效率低, 但 BOG 需要被压缩到约 4 到 8 巴的低压。

[0216] 与常规方法相比, 根据本发明, 由于从储罐排出的 BOG 用作高压天然气喷射式发动机的燃料, 因此 BOG 可被压缩到较高压力且再液化而不引起闪发气体的产生, 因而增大再液化效率。

[0217] 根据本发明, 由于液化 BOG 是作为高压天然气喷射式发动机 (例如, ME-GI 发动机) 的燃料而供应, 因此液化 BOG 无需回流到储罐以供再储存在储罐中, 因而使得有可能防止可在 BOG 回流到储罐时引起的闪发气体的产生。而且, 由于闪发气体的产生得以抑制, 因此与常规方法相比, BOG 可被压缩到较高压力 (即, 约 12 到 45 巴的中压) 以用于再液化。由于 BOG 被压缩到中压且接着再液化, 因此再液化效率可改进而不管制冷剂的类型如何。明确地说, 再液化效率可在使用不可燃混合制冷剂而不是氮制冷剂时增大。也就是说, 与使用氮制冷剂的常规再液化设备相比, 根据本发明的使用不可燃混合制冷剂的再液化设备可用相当低的能量来使 BOG 再液化且将液化 BOG 作为发动机的燃料来供应。

[0218] 再液化设备 20/120 可具有可使从例如 LNG 等液化气产生的 BOG 再液化的任何配置。举例来说, 再液化设备 20/120 可为使用不可燃混合制冷剂的再液化系统, 如第一实施例到第六实施例及其修改实例中所描述。而且, 再液化设备 20/120 可为使用混合制冷剂或氮制冷剂的常规再液化系统。举例来说, 再液化设备 20/120 可为第 W02007/117148 号和第 W02009/136793 号国际专利公开案以及第 10-2006-0123675 号和第 10-2001-0089142 号韩国专利申请公开案中揭露的再液化设备中的任一者。

[0219] 根据本发明的燃料供应系统, 储罐中产生的所有 BOG 在海事结构的航行期间的大部分时间段内用作高压天然气喷射式发动机的燃料。因此, 可移除通过 LBOG 回流线 L4/L14 回流到储罐 11/110 的液化气。LBOG 回流线 L4/L14 可用以仅在异常状况下使 LBOG 从缓冲罐 31 或再冷凝器 131 回流到储罐 11/110, 在所述异常状况中, 高压天然气喷射式发动机的功率消耗远小于储罐中产生的 BOG 的量, 例如海事结构被牵引到码头旁的状况, 海事结构通过运河的状况, 以及海事结构低速航行的状况。LBOG 回流线 L4/L14 还可用以使在缓冲罐 (或再冷凝器) 的故障或维护期间留在缓冲罐 (或再冷凝器) 中的 LBOG 回流。

[0220] 根据本发明, 所有 LBOG 可在海事结构的航行期间的大部分时间段内用于发动机而不回流到储罐。在此状况下, 由于移除回流的 LBOG 本身, 因此可防止可在 LBOG 回流到储罐 11 时因为压力差而引起的闪发气体的产生。在本说明书中, 表达“移除闪发气体”意味着消耗所产生的闪发气体以防止闪发气体被供应到储罐 11 中, 且还意味着防止液化 BOG 回流到储罐以阻隔并防止可由回流的 LBOG 引起的闪发气体本身的产生。

[0221] 在第 W02007/117148 号和第 W02009/136793 号国际专利公开案以及第 10-2006-0123675 号和第 10-2001-0089142 号韩国专利申请公开案中揭露的常规再液化设备的状况下, 由于由再液化设备再液化的 LBOG 回流到 LNG 储罐, 因此根据 LNG 储罐的内部温度 (约  $-163^{\circ}\text{C}$ ), BOG 过冷却到远低于约 4 到 8 巴的压力下的饱和温度的温度。

[0222] 举例来说, 汉姆沃斯燃气系统有限公司的常规第三代再液化设备 (第 W02007/117148 号国际专利公开案中揭露的技术) 将 BOG 压缩到 8 巴的压力且在  $-159^{\circ}\text{C}$  的

温度下使 BOG 液化。在此状况下,由于 BOG 的饱和温度为约  $-149.5^{\circ}\text{C}$ ,因此 BOG 过冷却约 9 到  $10^{\circ}\text{C}$ 。BOG 需要过冷却达此度数以便防止在液化 BOG 回流到 LNG 储罐时产生闪发气体。然而,由于液化 BOG 由高压泵压缩,同时液化 BOG 作为高压天然气喷射式发动机的燃料来供应,因此因增大的压力而饱和的 LBOG 可在稍后稳定地维持过度冷却状态。因此,根据本发明,液化 BOG 可通过过度冷却多达  $0.5$  到  $3^{\circ}\text{C}$ ,优选地约  $1^{\circ}\text{C}$  (与对应压力下的饱和温度相比)而液化,且接着作为燃料来供应。随着再液化设备中的过冷却的水准减小,再液化能量减少效应增大。举例来说,用于在  $-150^{\circ}\text{C}$  的温度下过冷却  $1^{\circ}\text{C}$  的能量为再液化所需的总功率的 1%。

[0223] 根据本发明的燃料供应系统,由于 LBOG 是作为高压天然气喷射式发动机的燃料来供应和使用,因此 BOG 被压缩到约 12 到 45 巴的压力且再液化设备用比对应压力下的饱和温度低约  $0.5$  到  $3^{\circ}\text{C}$  (优选地  $1^{\circ}\text{C}$ ) 的再液化温度操作。

[0224] 根据本发明,由于由再液化设备再液化的 LBOG 不回流到储罐,因此不必考虑储存在储罐中的 LNG 的温度和压力。在常规方法中,用于将 LBOG 输送到储罐的管道相对较长。然而,在本发明的状况下,由于用于在维持 LBOG 的过冷却状态的同时将 LBOG 输送到储罐的管道相对较短(例如,再液化设备(例如,气体-液体分离器)与高压泵之间的长度),因此不必将 BOG 过冷却到远低于饱和温度的温度。

[0225] 也就是说,高压天然气喷射式发动机在海事结构的航行期间在相当长的时间段内可需要比 LNG 储罐中产生的 BOG 的量多的燃料量。在此状况下,将液化 BOG 全部供应到高压天然气喷射式发动机,进而在液化 BOG 回流到 LNG 储罐时防止闪发气体的产生。

[0226] 因此,本发明在将 BOG 的液化温度设定为稍低于饱和温度的温度(例如,过冷却约  $0.5^{\circ}\text{C}$  到  $3^{\circ}\text{C}$ ,优选约  $1^{\circ}\text{C}$ )的同时操作再液化设备 120,进而减少再液化设备的功率消耗。

[0227] 根据此实施例,甚至当 BOG 过冷却到比饱和温度低约  $0.5$  到  $3^{\circ}\text{C}$  的温度且接着被供应到缓冲罐 31 时,BOG 在作为燃料而供应到高压天然气喷射式发动机的同时由高压泵 33 压缩。因此,饱和 LBOG 可因为温度升高而稳定地维持过冷却状态。

[0228] 而且,由于供应到高压泵的 LBOG 被压缩到中压,因此由高压泵泵送 LBOG 所需的功率可减少。

[0229] 在具有常规再液化设备的海事结构中,由于 BOG 被再液化,从而考虑使 BOG 回流到储罐,因此 BOG 被压缩到约 4 到 8 巴的低压以便在 BOG 回流到储罐时抑制闪发气体产生。然而,在本发明的燃料供应系统中,由于 BOG 被再液化且所有 BOG 用作高压天然气喷射式发动机的燃料,因此 BOG 被压缩到约 12 到 45 巴的相对高的压力。这是本发明的新颖且发明性的概念,这在 BOG 再液化之后使 BOG 回流到储罐的常规方法中没有设想到。

[0230] 在常规方法中,闪发气体在 LBOG 回流到储罐期间因减压而产生,且闪发气体回流到再液化设备,因而使再液化设备的效率降级。然而,本发明使用所有 LBOG 作为高压天然气喷射式发动机的燃料而无减压(改为执行压缩),因而与常规方法相比改进再液化设备的效率。

[0231] 根据本发明的燃料供应系统,由于 BOG 被再液化且所有液化 BOG 用作高压天然气喷射式发动机的燃料,因此 BOG 可被压缩到约 12 到 45 巴的相对高的压力。因此,如参看图 6B 所描述,根据本发明的再液化设备可用在常规再液化设备(制冷循环)中消耗的功率的 50% 到 80% 来操作。因而,由于根据本发明的再液化设备与现有技术相比可用相对低的功率

操作,因此发电机的容量可减小,从而使得有可能使发电机小型化。

[0232] 常规再液化设备消耗约 1 到 1.5 兆瓦的功率以在待机状态中操作。然而,根据本发明,如第六实施例所描述,由于再液化设备的操作在压载航行期间的大部分时间段内可停止,因此再液化设备的功率消耗可减少。举例来说,假设环形压载航行期为 150 天且使用具有 183 克 / 千瓦时的功率消耗的柴油发电机来操作再液化设备,那么每年可节省 660 到 923 吨 HF0。由于到 2011 年 9 月中旬 HF0 在新加坡的价格为 671 美元 / 吨,因此每年可节省 40 到 60 万美元。

[0233] (第六实施例的第一修改实例)

[0234] 图 12 为说明根据本发明的第六实施例的第一修改实例的燃料供应系统的配置图。第六实施例的第一修改实例与第六实施例的差异在于燃料供应系统包含预冷却单元,所述预冷却单元经配置以在高压天然气喷射式发动机的燃料供应中断时,预冷却供应到再液化设备的 BOG,以便将再液化设备中的能量消耗减到最少。

[0235] 根据第六实施例的第一修改实例的预冷却单元包含:LNG 分支线 L31,从 LNG 供应线 L17 分支,且在高压泵 133 的下游侧(即,热交换器 135 的上游侧)与燃料供应线 L13 连接;以及 LNG 结合线 L32,在热交换器 135 的下游侧从燃料供应线 L13 分支且在 BOG 压缩单元 113 的下游与 BOG 供应线 L12 连接。

[0236] 从储罐 110 排出的 BOG 可在供应到再液化设备 120 的冷箱 121 之前在热交换器 135 中通过热交换冷却,进而减少再液化设备 120 的能量消耗。热交换器 135 中的冷热源为从高压泵 133 供应到高压天然气喷射式发动机的燃料(即,LNG)。因此,当高压天然气喷射式发动机的操作停止且燃料供应中断时,冷热源消失。在此状况下,根据第六实施例的第一修改实例,储罐 110 中的 LNG 的冷热可通过预冷却单元传递到 BOG 以冷却 BOG。因此,被供应到再液化设备 120 的 BOG 可有效地再液化,即使当高压天然气喷射式发动机操作时也如此。

[0237] 通过从 LNG 供应线 L17 分支的 LNG 分支线 L31 供应到热交换器 135 的 LNG 在热交换器 135 中通过热交换而被加热,且冷却 BOG。所加热的 LNG 至少部分气化,且接着通过 LNG 结合线 L32 与 BOG 结合。

[0238] 温度控制阀可安装在 LNG 分支线 L31 处以控制 LNG 的供应,进而控制 BOG 的预冷却温度。LNG 分支线 L31 可从 LNG 供应线 L17 分支,或可包含从 LNG 储罐 110 延伸的独立管道。尽管未说明,但增压泵 158 (见图 11) 可安装在 LNG 供应线 L17 处。

[0239] (第六实施例的第二修改实例)

[0240] 图 13 为说明根据本发明的第六实施例的第二修改实例的燃料供应系统的配置图。第六实施例的第二修改实例与第六实施例的差异在于燃料供应系统包含预冷却单元,所述预冷却单元经配置以在高压天然气喷射式发动机的燃料供应中断时,预冷却供应到再液化设备的 BOG,以便将再液化设备中的能量消耗减到最少。

[0241] 不同于根据第六实施例的第一修改实例的预冷却单元,根据第六实施例的第二修改实例的预冷却单元包含:BOG 预处理热交换器 141,在热交换器 135 的上游侧安装在 BOG 供应线 L12 处;LNG 分支线 L35,从 LNG 供应线 L17 分支且与 BOG 预冷却热交换器 141 连接;以及 LNG 结合线 L36,从 BOG 预冷却热交换器 141 延伸且在 BOG 预冷却热交换器 141 的上游与 BOG 供应线 L12 连接。

[0242] 从储罐 110 排出的 BOG 可在供应到再液化设备 120 的冷箱 121 之前在热交换器 135

中通过热交换冷却,进而减少再液化设备 120 的能量消耗。热交换器 135 中的冷热源为从高压泵 133 供应到高压天然气喷射式发动机的燃料(即, LNG)。因此,当高压天然气喷射式发动机的操作停止且燃料供应中断时,冷热源消失。在此状况下,根据第六实施例的第二修改实例,储罐 110 中的 LNG 的冷热可通过预冷却单元传递到 BOG 以冷却 BOG。因此,被供应到再液化设备 120 的 BOG 可有效地再液化,即使当高压天然气喷射式发动机操作时也如此。

[0243] 通过从 LNG 供应线 L17 分支的 LNG 分支线 L35 供应到 BOG 预冷却热交换器 141 的 LNG 通过热交换而被加热,且冷却 BOG。所加热的 LNG 至少部分气化,且接着通过 LNG 结合线 L36 与 BOG 结合。

[0244] 温度控制阀可安装在 LNG 分支线 L31 处以控制 LNG 的供应,进而控制 BOG 的预冷却温度。LNG 分支线 L35 可从 LNG 供应线 L17 分支,或可包含从 LNG 储罐 110 延伸的独立管道。尽管未说明,但增压泵 158 (见图 11) 可安装在 LNG 供应线 L17 处。

[0245] 根据第六实施例的第一修改实例和第二修改实例,BOG 可有效地再液化,即使高压天然气喷射式发动机的操作停止而 BOG 持续从储存在储罐 110 中的 LNG 产生的状况(例如,海事结构正等待卸载 LNG 的状况和海事结构正在港口或运河被牵引的状况)下也如此。

[0246] (第六实施例的第三修改实例)

[0247] 图 14 为说明根据本发明的第六实施例的第三修改实例的燃料供应系统的配置图。第六实施例的第三修改实例与第六实施例的差异在于燃料供应系统包含 LBOG 回流线 L41,所述 LBOG 回流线 L41 从燃料供应线 L13 的中间分支且使 LBOG 回流到储罐 110,而燃料供应线 L13 通过高压泵 133 将燃料从再液化设备供应到高压天然气喷射式发动机。

[0248] 根据第六实施例的第三修改实例,LBOG 回流线 L41 在再液化设备 120 的下游侧(即,高压泵 133 与再液化设备 120 的冷箱 121 之间)分支。具体地说,LBOG 回流线 L41 可在再冷凝器 131 与再液化设备 120 的冷箱 121 之间分支。

[0249] 与第六实施例中 LBOG 回流线从再冷凝器 131 延伸的状况相比,根据第六实施例的第三修改实例的热能到回流 LBOG 中的流入可减少。

[0250] 为了稳定地操作再液化设备,可有必要恒定地维持高压泵的上游侧的压力(即,作为主热交换器的冷箱 121 的后端处的背压)。根据第六实施例的第三修改实例,压力控制阀 145 安装在 LBOG 回流线 L41 处以将燃料供应线 L13 的压力维持在预定压力。压力控制阀 145 的安装使得有可能稳定地操作再液化设备,且还控制通过燃料供应线供应的燃料的流动。

[0251] 尽管未说明,但增压泵 158 (见图 11) 可安装在 LNG 供应线 L17 处。并且,尽管未说明,但参看图 9A 到图 10B 所描述的第四实施例和第五实施例及其修改实例的膨胀阀和气体-液体分离器可安装在 LBOG 回流线 L14 处,且经配置以处理所产生的闪发气体或抑制闪发气体的产生的单元可得以安装。

[0252] 并且,根据第六实施例的第二修改实例,可安装一般抽吸鼓(suction drum),而不是再冷凝器 131。

[0253] (第六实施例的第四修改实例)

[0254] 图 15 为说明根据本发明的第六实施例的第四修改实例的燃料供应系统的配置图。第六实施例的第四修改实例与第六实施例的差异在于燃料供应系统包含 LBOG 回流线 L41,所述 LBOG 回流线 L41 从燃料供应线 L13 的中间分支且使 LBOG 回流到储罐 110,而燃料

供应线 L13 通过高压泵 133 将燃料从再液化设备供应到高压天然气喷射式发动机。并且，第六实施例的第四修改实例与第六实施例的差异在于燃料供应系统将 LBOG 从再液化设备直接供应到高压泵 133，而不包含再冷凝器。

[0255] 根据第六实施例的第四修改实例的 LBOG 回流线 L41 在再液化设备 120 的下游侧(也就是说，高压泵 133 与再液化设备 120 的冷箱 121 之间)分支。

[0256] 与第六实施例中 LBOG 回流线从再冷凝器 131 延伸的状况相比，根据第六实施例的第四修改实例的热能到回流 LBOG 中的流入可减少。

[0257] 为了稳定地操作再液化设备，可有必要恒定地维持高压泵的上游侧的压力(即，作为主热交换器的冷箱 121 的后端处的背压)。根据第六实施例的第三修改实例，压力控制阀 145 安装在 LBOG 回流线 L41 处以将燃料供应线 L13 的压力维持在预定压力。压力控制阀 145 的安装使得有可能稳定地操作再液化设备，且还控制通过燃料供应线供应的燃料的流动。

[0258] 尽管未说明，但增压泵 158 (见图 11) 可安装在 LNG 供应线 L17 处。并且，尽管未说明，但参看图 9A 到图 10B 所描述的第四实施例和第五实施例及其修改实例的膨胀阀和气体-液体分离器可安装在 LBOG 回流线 L14 处，且经配置以处理所产生的闪发气体或抑制闪发气体的产生的单元可得以安装。

[0259] 上文已描述本发明的燃料供应系统和方法适用于例如 LNG 船等海事结构。然而，应易于理解，本发明的燃料供应系统和方法也适用于对陆地上的高压天然气喷射式发动机的燃料供应。

[0260] 尽管已参考具体实施例描述本发明的实施例，但所属领域的技术人员应明白，在不脱离由所附权利要求书定义的本发明的精神和范围的情况下可进行各种改变和修改。

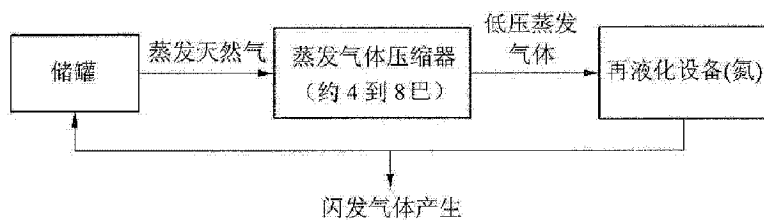


图 1

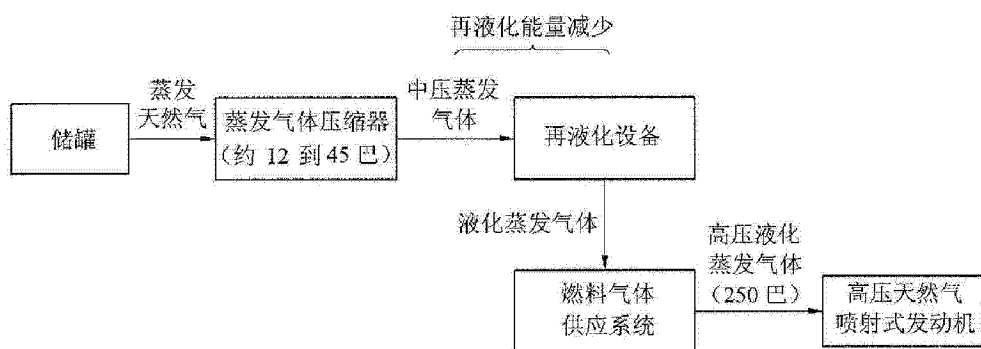


图 2

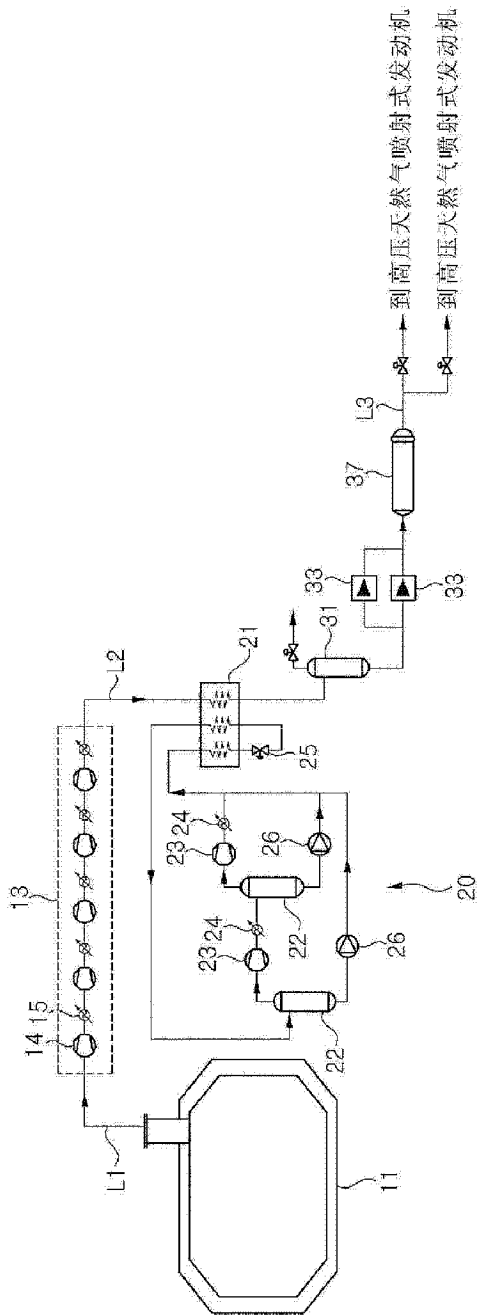


图 3A

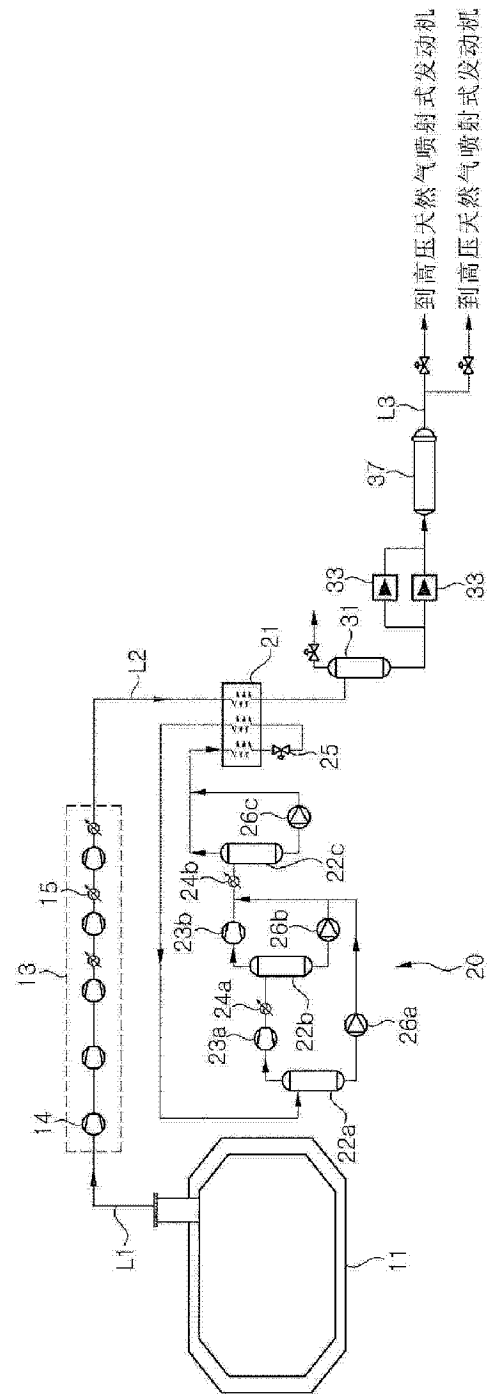


图 3B

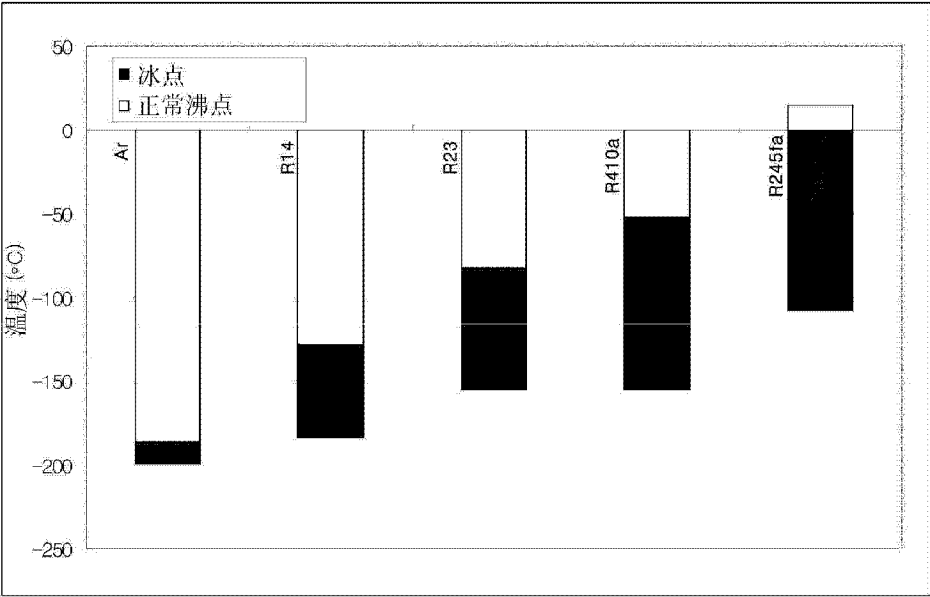


图 4A

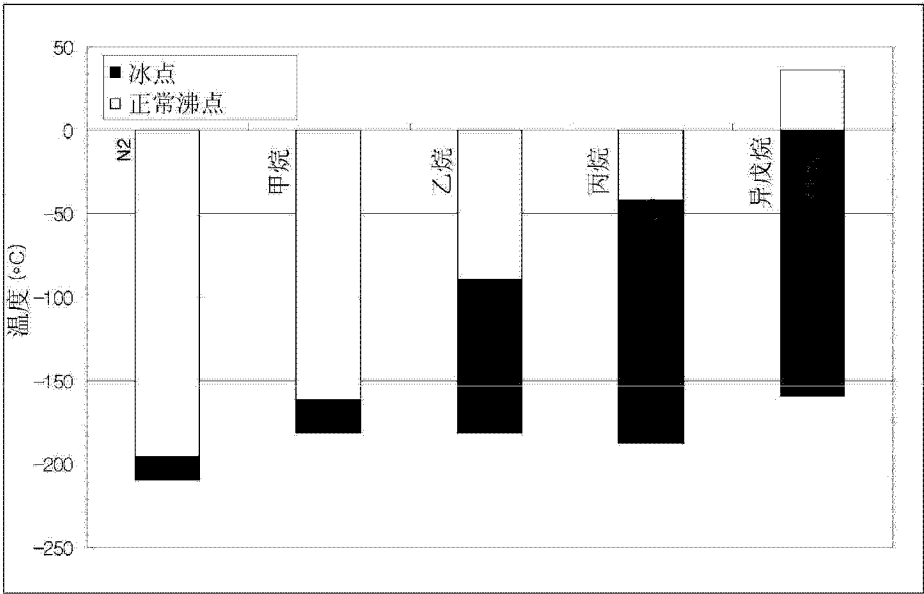


图 4B

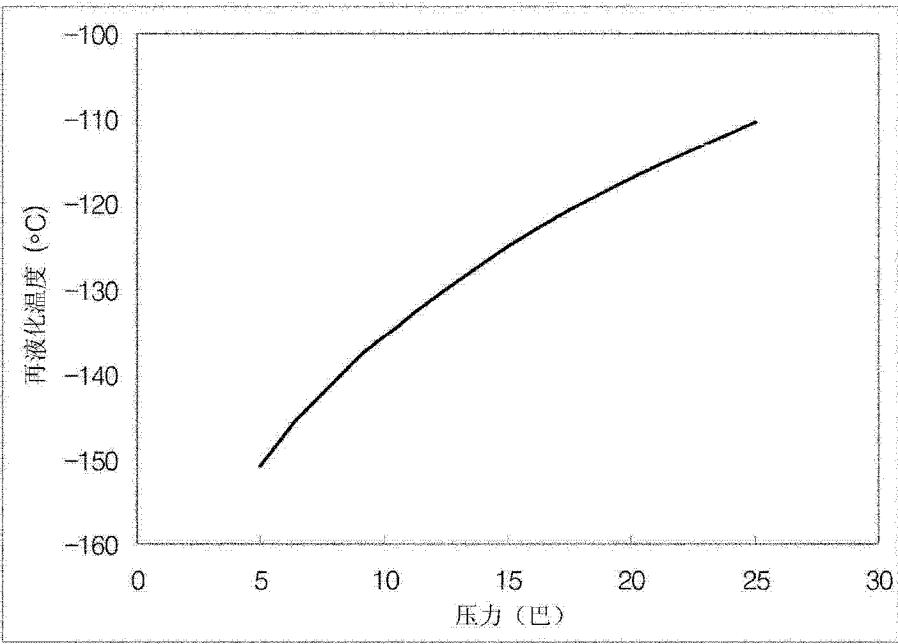


图 4C

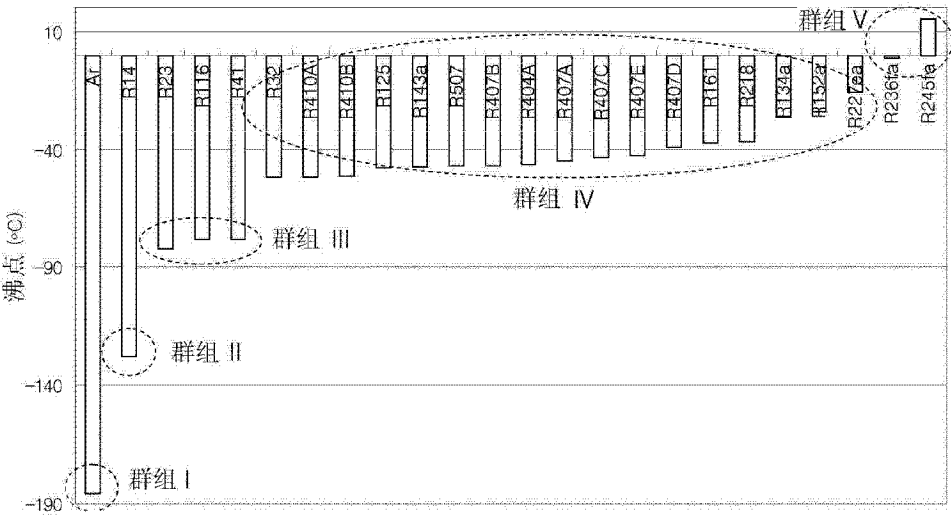


图 5

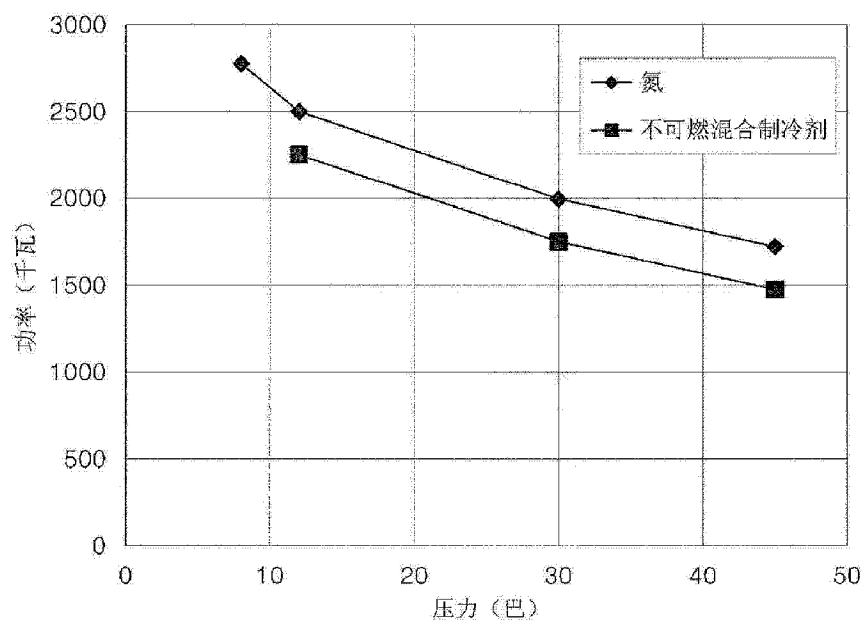


图 6A

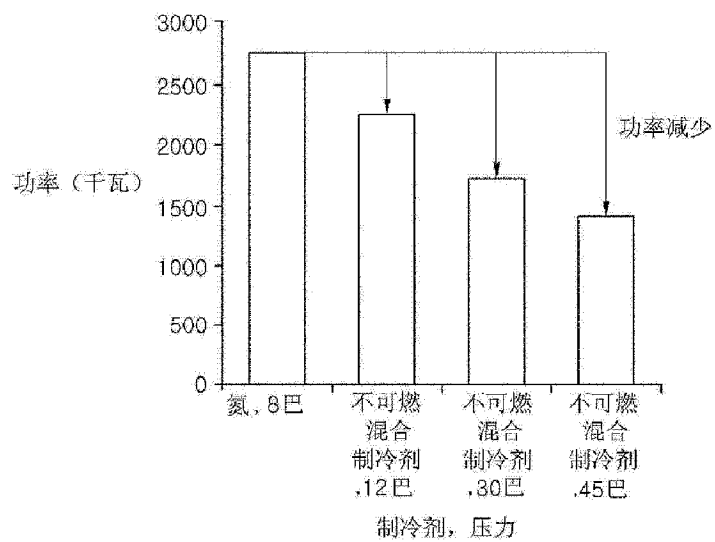


图 6B

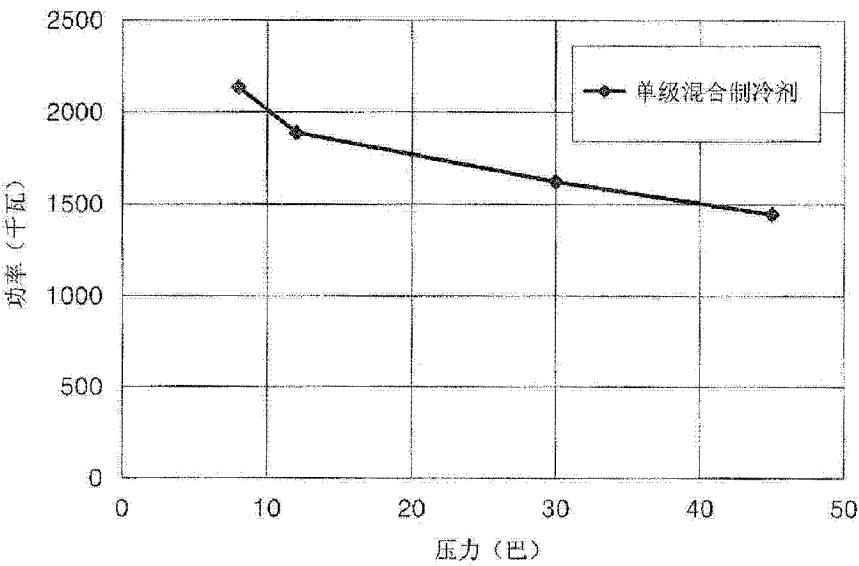


图 6C

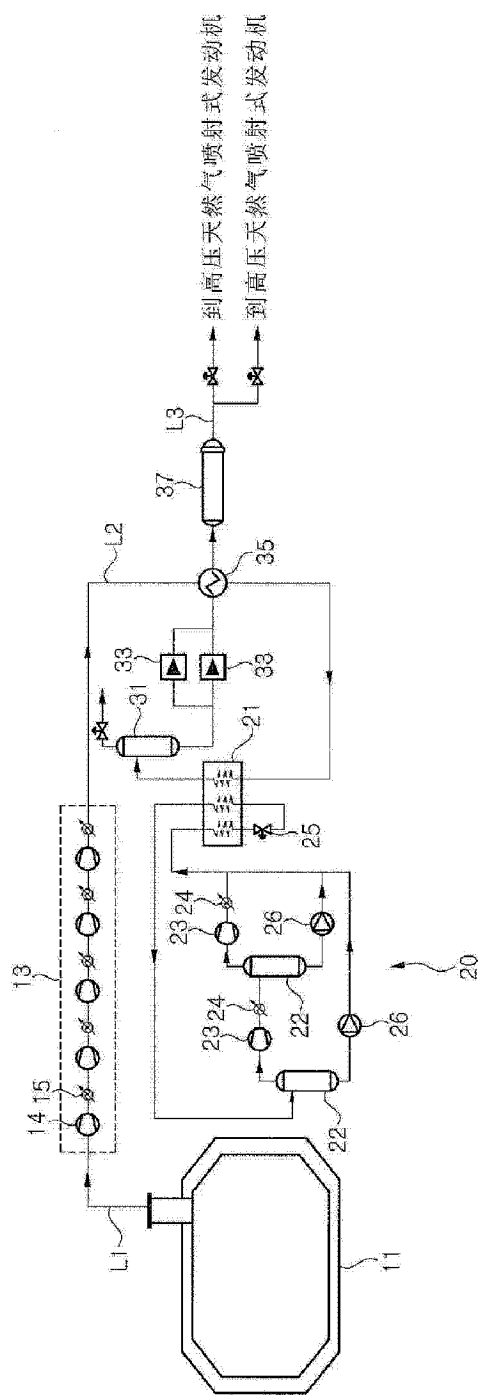


图 7A

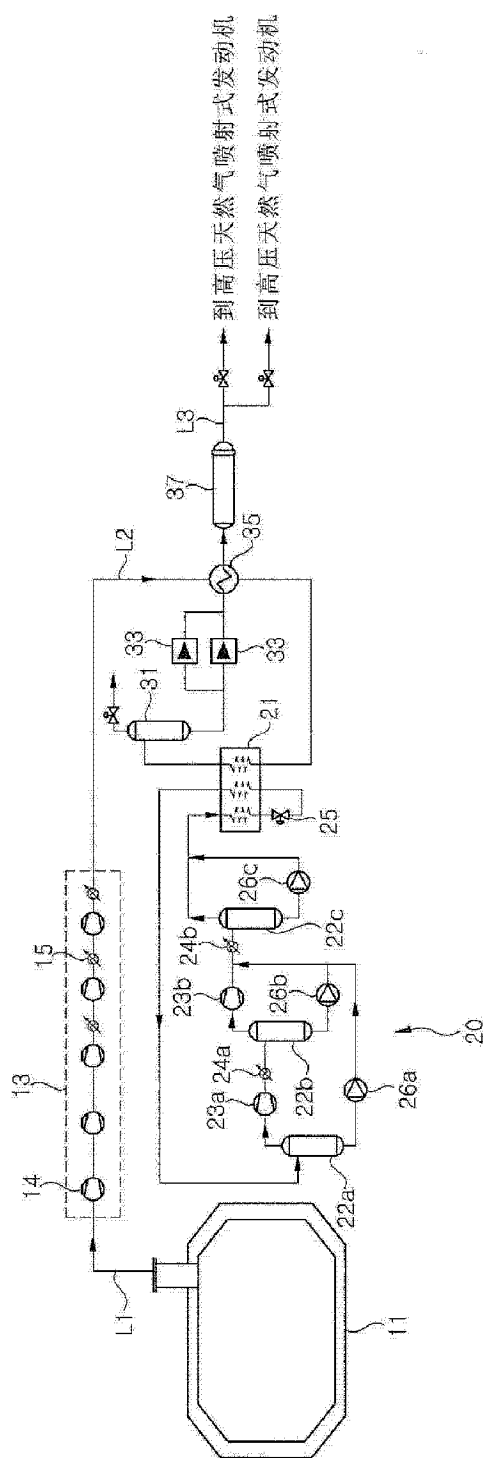


图 7B

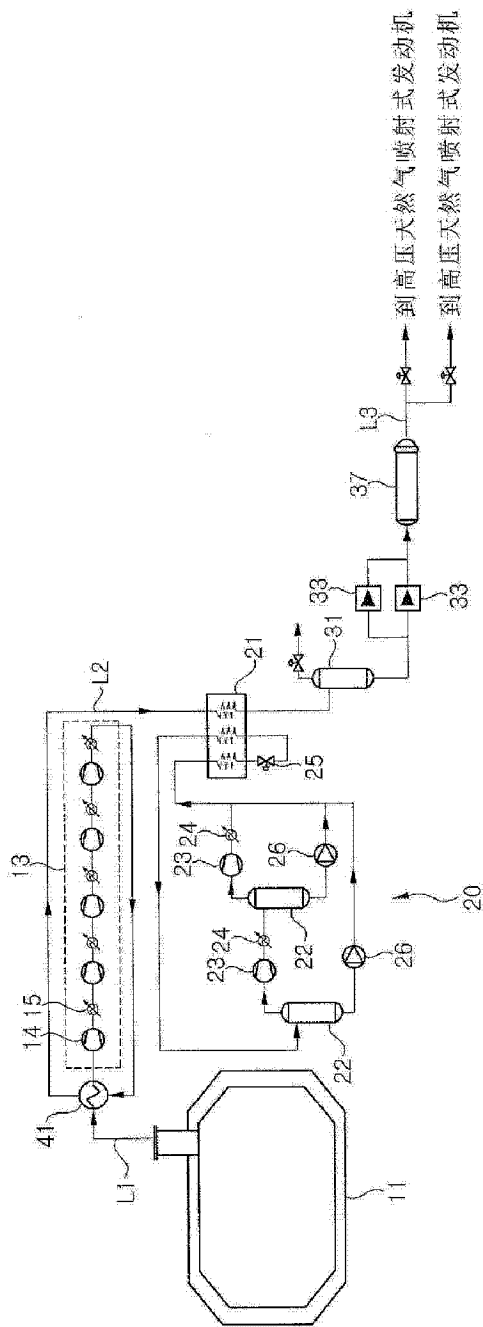


图 8A

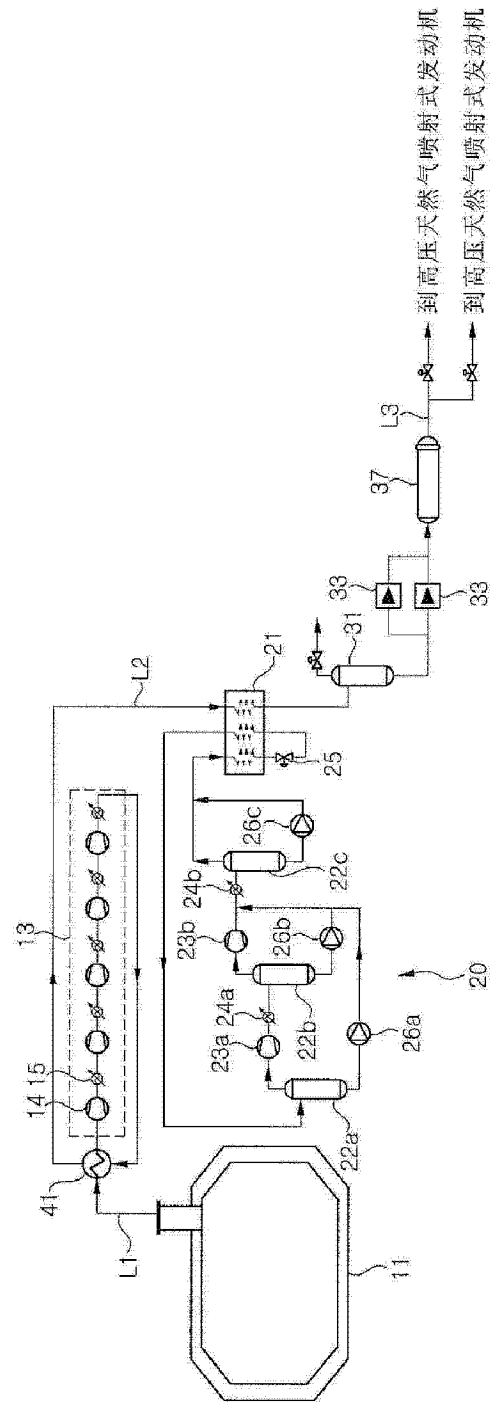


图 8B

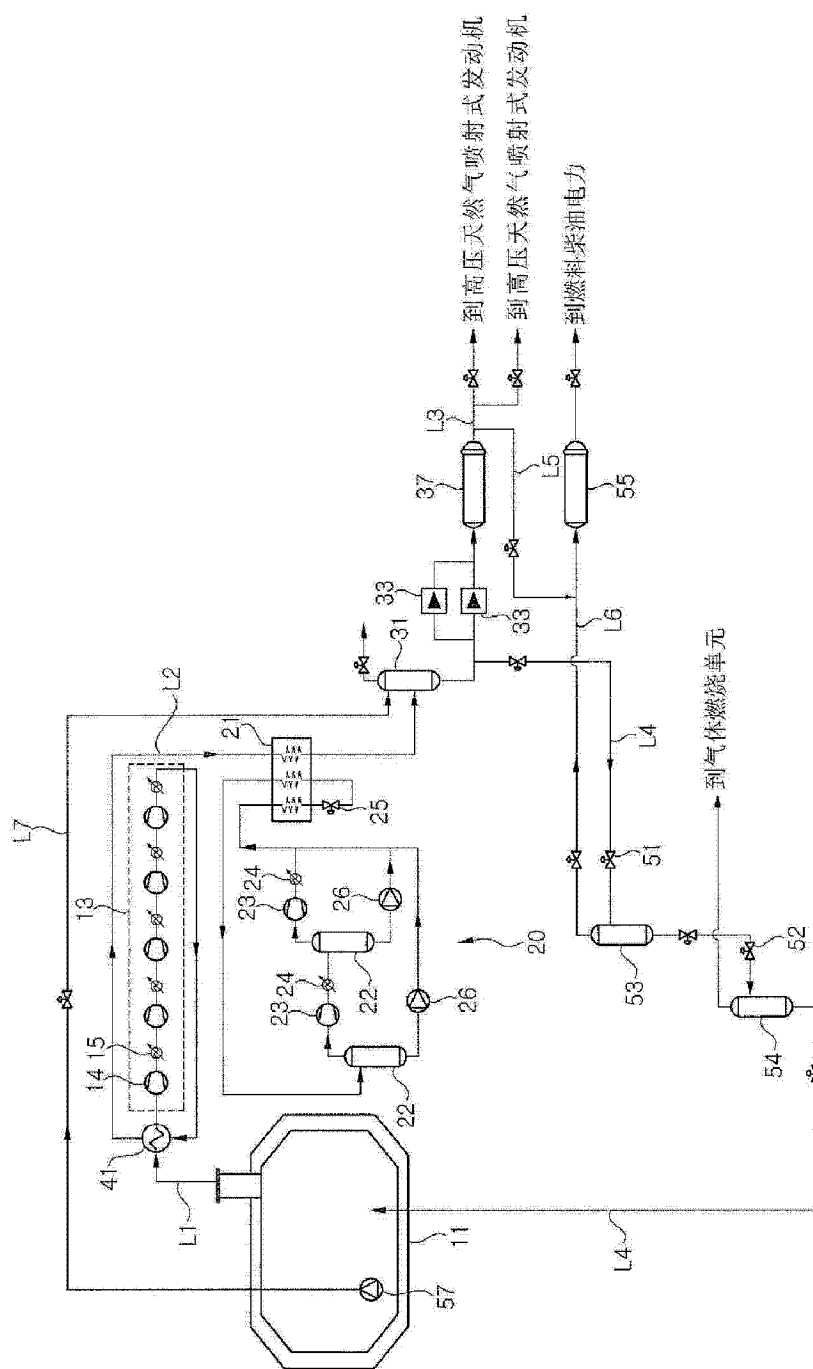


图 9A

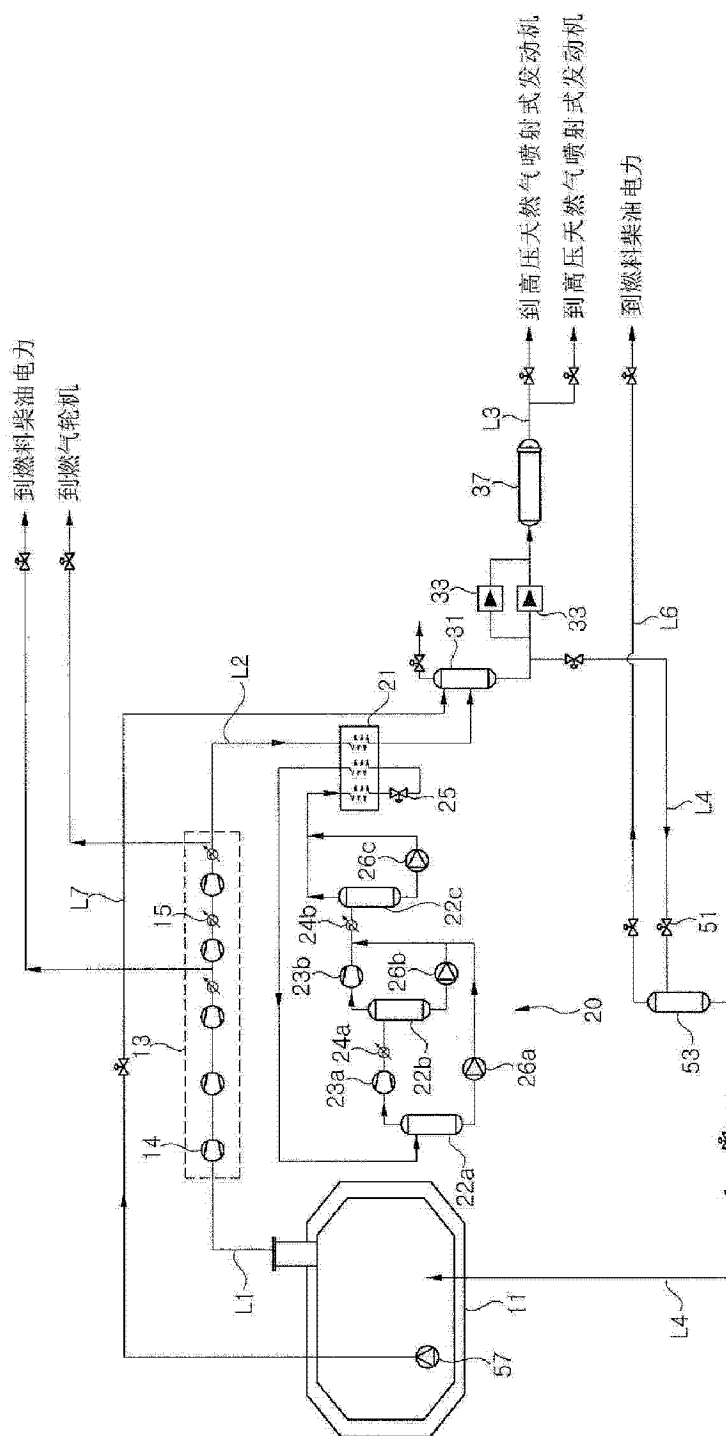


图 9B

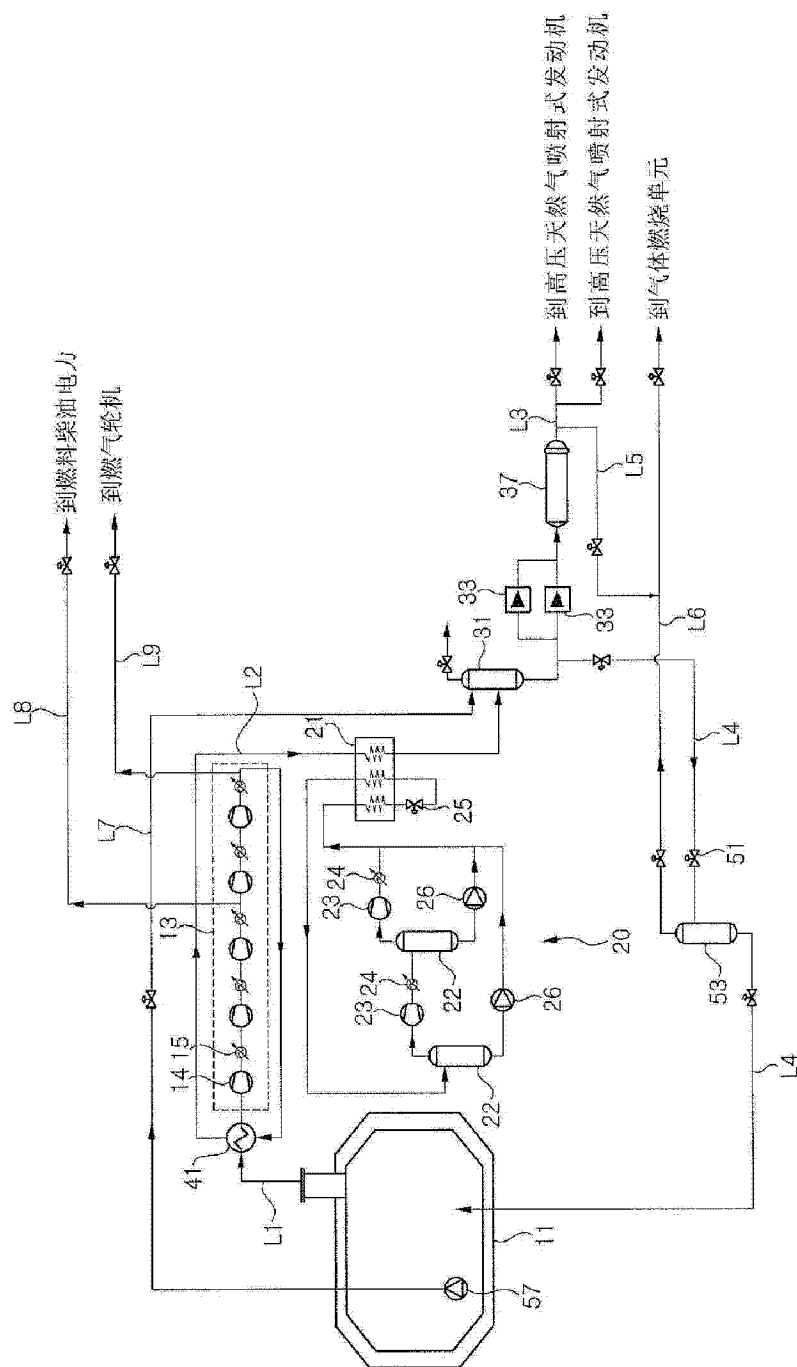


图 10A

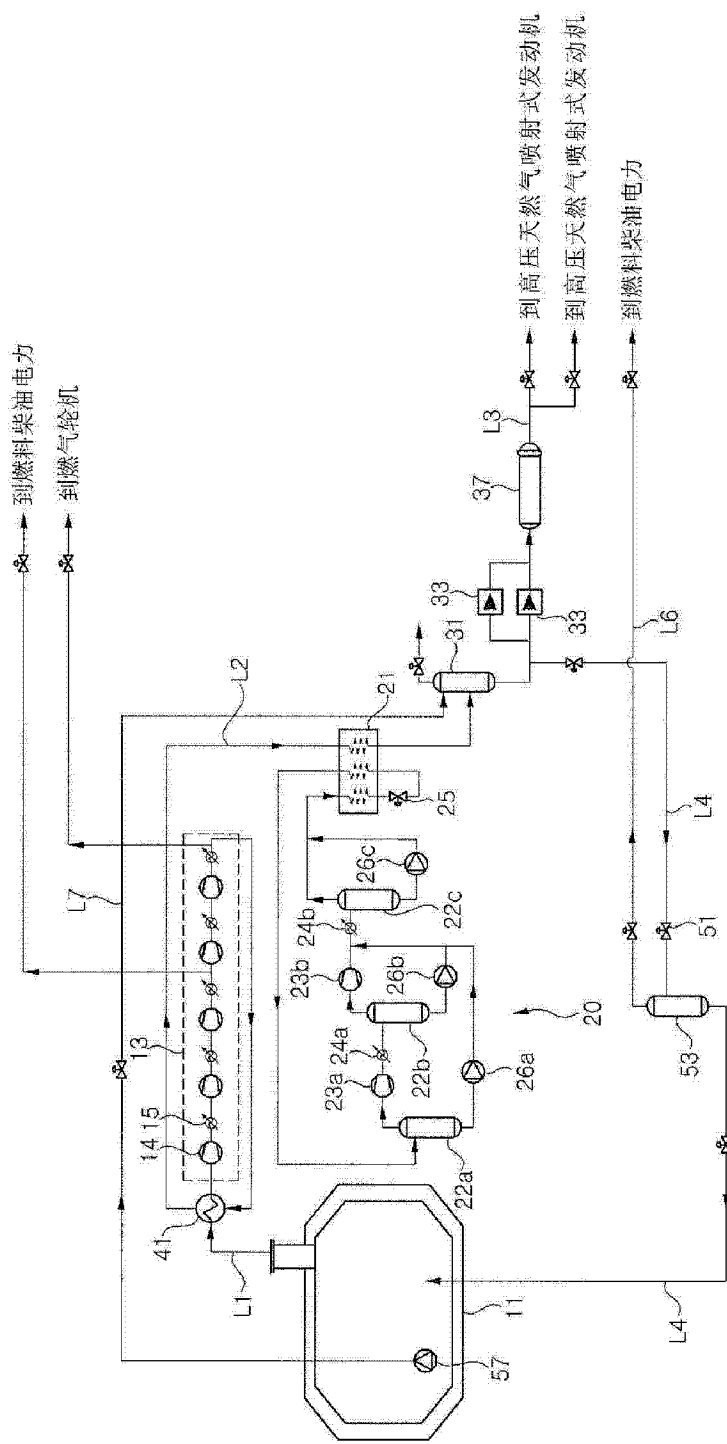


图 10B

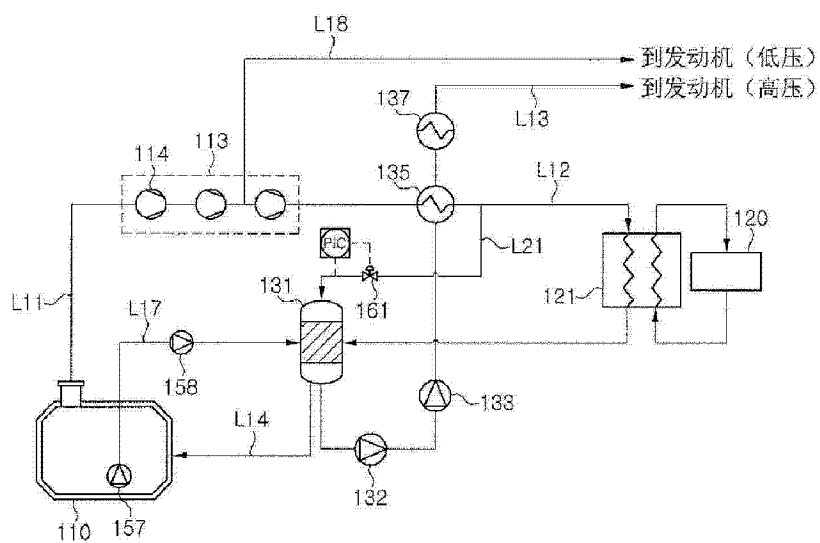


图 11

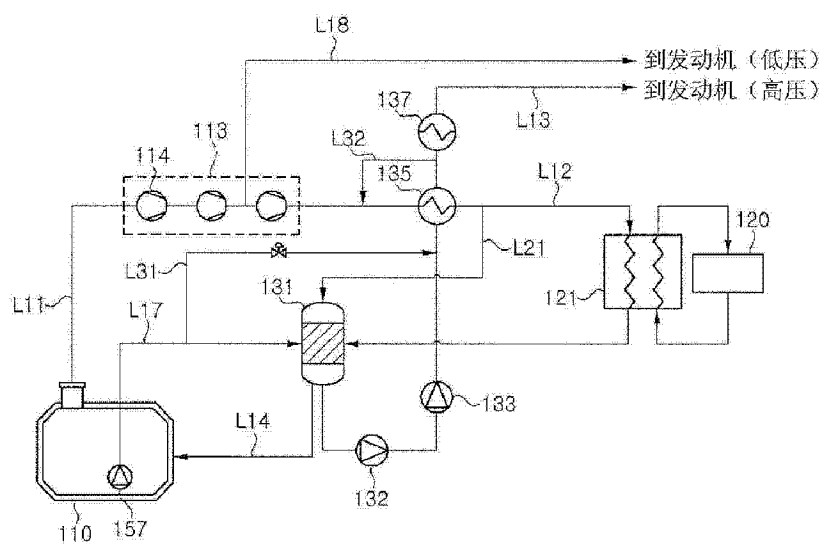


图 12

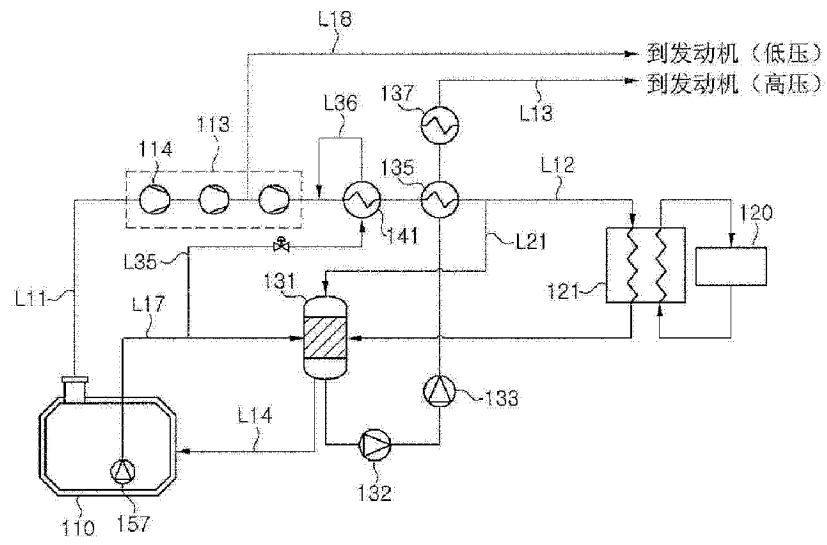


图 13

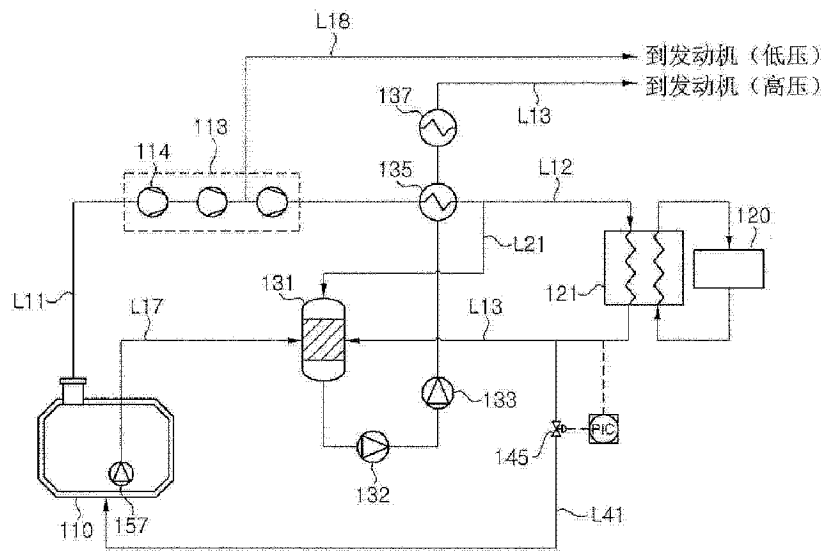


图 14

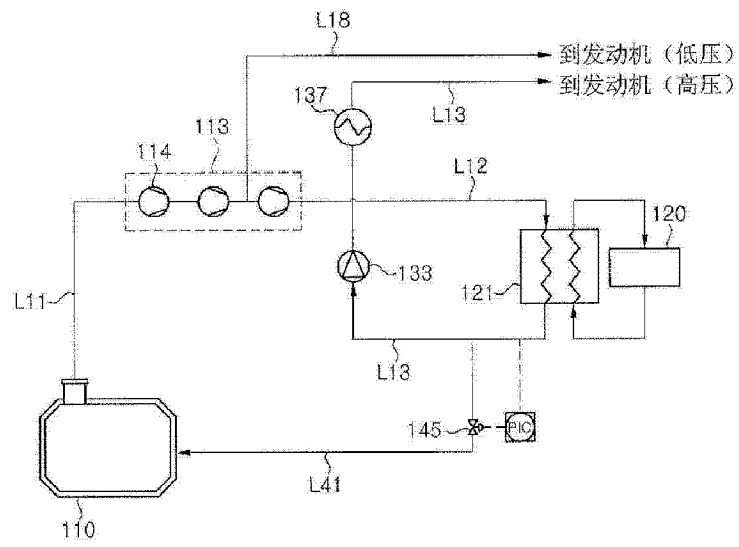


图 15