

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F25B 9/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03103751.8

[45] 授权公告日 2010年1月6日

[11] 授权公告号 CN 100578115C

[22] 申请日 2003.2.18 [21] 申请号 03103751.8

[30] 优先权

[32] 2002.5.20 [33] JP [31] 144654/2002

[73] 专利权人 东海旅客铁道株式会社

地址 日本爱知

共同专利权人 住友重机械工业株式会社

[72] 发明人 草田荣久 本吉智行 真田芳直

富冈计次

[56] 参考文献

US6354087B 2002.3.12

US5966944A 1999.10.19

US6347522B 2002.2.19

JP9-229503A 1997.9.5

审查员 秦 奋

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 何腾云

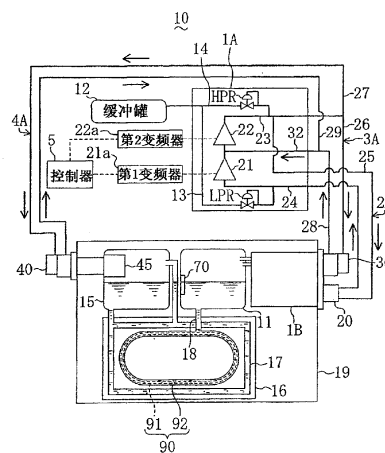
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 4 页

[54] 发明名称

超低温冷冻装置

[57] 摘要

一种超低温冷冻装置备有阻止对超导磁铁的辐射热的侵入的屏蔽板, 备有具有预冷氦气的预冷冷冻机且生成液体氦的氦冷冻机和冷却氦罐的氮的氮冷冻机。备有在车辆行驶时驱动低段侧压缩机和高段侧压缩机, 使氮冷冻机和氦冷冻机运转而在车辆停止时停止氦冷冻机中的预冷冷冻机的运转且使氮冷冻机的运转继续的控制器。



1. 一种超低温冷冻装置，它是冷却超导磁铁的超低温冷冻装置，备有：氮冷冻机、氮罐、热屏蔽构件、氮罐、氮冷冻机及控制器，

上述氮冷冻机具有：压缩氮气的第1压缩机、设置在上述第1压缩机的排出侧的第2压缩机、连结在上述第1压缩机和上述第2压缩机并使由上述第1压缩机和上述第2压缩机2级压缩的氮气进行焦耳汤姆逊膨胀而进行液化的JT回路、及连结在上述第2压缩机并使上述2级压缩了的氮气进行膨胀并预冷上述JT回路的氮气的预冷回路，

上述氮罐连接上述氮冷冻机并储存由上述氮冷冻机液化了的液体氮且供给于上述超导磁铁，

上述热屏蔽构件用液体氮阻止向上述超导磁铁的热侵入，

上述氮罐储存上述液体氮且将该液体氮供给于上述热屏蔽构件，

上述氮冷冻机连结上述第2压缩机且连接上述氮罐通过使从上述第2压缩机排出的氮气膨胀产生的冷量形成超低温环境，由该超低温环境冷却上述氮罐内的氮，

上述控制器有选择地实行正常运转和控制容量运转，上述正常运转驱动上述第1压缩机和上述第2压缩机来使上述氮冷冻机和上述氮冷冻机双方运转，上述控制容量运转驱动上述第1压缩机和上述第2压缩机，在使上述氮冷冻机的预冷回路停止运转的同时只使上述氮冷冻机运转。

2. 如权利要求1所述的超低温冷冻装置，其特征在于，上述第2压缩机由容量可自由控制的压缩机构成，上述控制器，为使上述氮冷冻机的冷冻能力在控制容量运转和正常运转时一样大而实行上述第2压缩机的容量控制。

3. 如权利要求1所述的超低温冷冻装置，其特征在于，上述控制器在正常运转中当上述氮罐内的液体氮大于规定量时把运转从正常运转切换到控制容量运转。

4. 如权利要求1所书的超低温冷冻装置，其特征在于，上述控

制器在控制容量运转中当上述氨罐内的液体氨小于等于规定量时把运转从控制容量运转切换到正常运转。

5. 如权利要求 1 所述的超低温冷冻装置, 其特征在于, 备有设置在上述氨罐内的液面传感器, 上述控制器当在正常运转中上述氨罐内的液体氨的液面高于规定位置时, 把运转从正常运转切换到控制容量运转, 而当在控制容量运转中上述氨罐内的液体氨的液面位于规定液面或低于规定液面时, 把运转从控制容量运转切换到正常运转。

6. 如权利要求 1 所述的超低温冷冻装置, 其特征在于, 备有: 缓冲罐和压力传感器, 上述缓冲罐与上述 JT 回路连接, 当上述 JT 回路的氨气的高压侧压力大于规定的上限值时, 从上述 JT 回路回收氨气, 而当上述 JT 回路的氨气的低压侧压力小于等于规定的下限值时, 向上述 JT 回路供给氨气, 上述压力传感器检测上述缓冲罐内的氨气的压力, 上述控制器, 在正常运转中当上述缓冲罐内的氨气的压力小于等于规定压力时把运转从正常运转切换到控制容量运转, 而在控制容量运转中当上述缓冲罐内的氨气的压力大于规定压力时, 把运转从控制容量运转切换到正常运转。

超低温冷冻装置

【技术领域】

本发明涉及冷却超导磁铁的超低温冷冻装置。

【背景技术】

作为冷却超导磁铁的装置，使用产生 4K 水平超低温的超低温冷冻装置。在这种超低温冷冻装置中，高效率地产生超低温水准的寒冷当然是重要的课题，防止来自外部的热侵入也是重要的课题。因此，以前，为了防止向超低温部的热侵入，使用了用低温的板状物体或筒状物体等覆盖超低温部的一部分或全部的所谓的热屏蔽技术。

例如，在日本特开平 9-229503 号公报中，介绍了应用热屏蔽技术的超低温冷冻装置。该超低温冷冻装置备有：生成 4K 水平的液体氮的 JT 冷冻机、储存所生成的液体氮的氮罐、覆盖氮罐的热屏蔽板、以及冷却该热屏蔽板的屏蔽冷冻机。再有，在本超低温冷冻装置中，超导磁铁被浸渍在氮罐内的液体氮中并被冷却到临界温度以下。

在上述超低温冷冻装置中，作为屏蔽冷冻机采用把氮作为制冷剂的 GM 冷冻机，用 JT 冷冻机和屏蔽冷冻机实现压缩机的通用化。具体地讲，上述超低温冷冻装置备有低段侧压缩机和高段侧压缩机，对于 JT 冷冻机，由两压缩机供给分 2 段压缩的氮气，对于屏蔽冷冻机供给只由高段侧压缩机压缩的氮气。

可是，JT 冷冻机的冷冻负荷和屏蔽冷冻机的冷冻负荷，因装置的运转环境而有很大差异。即，在 JT 冷冻机中，因为由屏蔽冷冻机阻止来自外部的热侵入，所以不怎么受外气温的影响。但是，根据运转的种类，由于因机械振动产生的摩擦热或因磁场产生的焦耳损失等，冷冻负荷变大。为此，存在因运转的切换而使冷冻负荷的变动变大的情况。与此相反，在保持冷冻机中，由于冷冻负荷的大部分是由来自外部的侵入热引起的，所以由内部的摩擦热等引起的冷冻负荷的变动

小，容易受外界气温的影响。

一般情况下，冷冻机的容量被设计成与假定的最大冷冻负荷相称。因此，JT 冷冻机的容量对应于考虑了内部的摩擦热等的最大的冷冻负荷进行设计。可是，如上所述，由于有时运转状态使冷冻负荷有较大的变动，所以如果不管运转状态如何而把 JT 冷冻机的容量做成恒定时，在不产生内部的摩擦热等的运转状态中，冷冻能力变得过剩。其结果 JT 冷冻机生成了需要量以上的液体氮，招致装置的效率降低。

因此，考虑到 JT 冷冻机的冷冻负荷的变动，为了提高装置的效率，考虑了对容量进行控制，使在由摩擦热等引起的冷冻负荷小时，减少低段侧压缩机和高段侧压缩机的容量。但是，用这样的控制，不仅 JT 冷冻机的冷冻能力降低，屏蔽冷冻机的冷冻能力也会降低。可是，屏蔽冷冻机的冷冻负荷不管运转状态如何几乎是恒定的，为此，有屏蔽冷冻机的冷冻能力不足的危险。因此，期待着解决这样课题的新技术问世。

鉴于上述问题，本发明的目的在于，提供一种进行与冷冻负荷的变动对应的高效率的运转的超低温冷冻装置。

【发明内容】

为了达到上述目的，在本发明中，当氮冷冻机的冷冻负荷小时，在继续氮冷冻机的运转的状态下，停止氮冷冻机的预冷回路的运转。

本发明的第 1 技术方案的一种超低温冷冻装置，它是冷却超导磁铁的超低温冷冻装置，备有：氮冷冻机、氮罐、热屏蔽构件、氮罐、氮冷冻机及控制器，

上述氮冷冻机具有：压缩氮气的第 1 压缩机、设置在上述第 1 压缩机的排出侧的第 2 压缩机、连结在上述第 1 压缩机和上述第 2 压缩机并使由上述第 1 压缩机和上述第 2 压缩机 2 级压缩的氮气进行焦耳汤姆逊膨胀而进行液化的 JT 回路、及连结在上述第 2 压缩机并使上述 2 级压缩了的氮气进行膨胀并预冷上述 JT 回路的氮气的预冷回路，

上述氮罐连接上述氮冷冻机并储存由上述氮冷冻机液化了的液体氮且供给于上述超导磁铁，

上述热屏蔽构件用液体氮阻止向上述超导磁铁的热侵入，
上述氮罐储存上述液体氮且将该液体氮供给于上述热屏蔽构件，
上述氮冷冻机连结上述第2压缩机且连接上述氮罐通过使从上述第2压缩机排出的氮气膨胀产生的冷量形成超低温环境，由该超低温环境冷却上述氮罐内的氮，

上述控制器有选择地实行正常运转和控制容量运转，上述正常运转驱动上述第1压缩机和上述第2压缩机来使上述氮冷冻机和上述氮冷冻机双方运转，上述控制容量运转驱动上述第1压缩机和上述第2压缩机，在使上述氮冷冻机的预冷回路停止运转的同时只使上述氮冷冻机运转。

本发明的第2技术方案的超低温冷冻装置，在上述第1技术方案的超低温冷冻装置中，上述第2压缩机由容量可自由控制的压缩机构成，上述控制器，为使上述氮冷冻机的冷冻能力在控制容量运转和正常运转时一样大而实行上述第2压缩机的容量控制。

本发明的第3技术方案的超低温冷冻装置，上述控制器在正常运转中当上述氮罐内的液体氮大于规定量时把运转从正常运转切换到控制容量运转。

本发明的第4技术方案的超低温冷冻装置，在上述第1技术方案的超低温冷冻装置中，上述控制器在控制容量运转中当上述氮罐内的液体氮小于等于规定量时把运转从控制容量运转切换到正常运转。

本发明的第5技术方案的超低温冷冻装置，在上述第1技术方案的超低温冷冻装置中，备有设置在上述氮罐内的液面传感器，上述控制器当在正常运转中上述氮罐内的液体氮的液面高于规定位置时，把运转从正常运转切换到控制容量运转，而当在控制容量运转中上述氮罐内的液体氮的液面位于规定液面或低于规定液面时，把运转从控制容量运转切换到正常运转。

再有，把运转从正常运转切换到控制容量运转时的规定位置和把运转从控制容量运转切换到正常运转时的规定位置可以相同，也可以不同。

本发明的第6技术方案的超低温冷冻装置，在上述第1技术方案的超低温冷冻装置中，备有：缓冲罐和压力传感器，上述缓冲罐与上述JT回路连接，当上述JT回路的氮气的高压侧压力大于规定的上限值时，从上述JT回路回收氮气，而当上述JT回路的氮气的低压侧压力小于等于规定的下限值时，向上述JT回路供给氮气，上述压力传感器检测上述缓冲罐内的氮气的压力，上述控制器，在正常运转中当上述缓冲罐内的氮气的压力小于等于规定压力时把运转从正常运转切换到控制容量运转，而在控制容量运转中当上述缓冲罐内的氮气的压力大于规定压力时，把运转从控制容量运转切换到正常运转。

再有，把运转从正常运转切换到控制容量运转时的规定压力和把运转从控制容量运转切换到正常运转时的规定压力既可以相同、也可以不同。

在第1技术方案的超低温冷冻装置中，在氮冷冻机的冷冻负荷大时，在氮冷冻机和氨冷冻机的双方中进行冷冻运转（正常运转）。另外，在只是氮冷冻机的冷冻负荷小时，继续氮冷冻机的冷冻运转，而且停止氨冷冻机的预冷回路的运转（控制容量运转）。因此，可以不引起氮冷冻机的能力下降地可以抑制装置全体的冷冻能力，能实现运转效率的提高和电力消费的降低。

在第2技术方案的超低温冷冻装置中，由于第2压缩机用容量自由控制的压缩机构成，氮冷冻机的冷冻机能力在正常运转时和控制容量运转时同等地进行第2压缩机的容量控制，所以在控制容量运转时，不会向氮冷冻机过剩地供给氨，氮冷冻机的能力不会过大。因此，伴随运转的切换的氮冷冻机的能力的变动被抑制，能防止氮冷冻机的运转效率的降低。

在第3技术方案的超低温冷冻装置中，在正常运转中，当氮罐内的液体氨的量为规定量以上时，被推断为氮冷冻机的能力过剩，运转从正常运转切换到控制容量运转。其结果，能力成为过剩那样的运转被防止，能实现运转效率的提高和电力消费的降低。

在第4技术方案的超低温冷冻装置中，在控制容量运转中，当氮

罐内的液体氮的量为规定量以下时，被推断为需要更多的液体氮用于超导磁铁的冷却，运转从控制容量运转切换到正常运转。其结果，氮冷冻机的预冷回路再开始运转，氮罐内的液体氮的量增加。因此，超导磁铁被稳定地冷却到规定的温度上。

在第5技术方案的超低温冷冻装置中，由液面传感器检测氮罐内的液体氮的液面的位置，根据其液面的位置推断液体氮的量。在正常运转中，当液面位于规定位置以上时，推断为氮冷冻机的冷冻能力过剩，运转从正常运转被切换到控制容量运转。在控制容量运转中，当液面位于规定位置以下时，被推断为液体氮的量不足，运转从控制容量运转被切换到正常运转。

在第6技术方案的超低温冷冻装置中，根据设置在氮JT回路中的缓冲罐的内部压力推断氮罐内的液体氮的量。在正常运转中，当缓冲罐的内部压力为规定压力以下时，被推断为储存在缓冲罐中的相当量的氮移动到氮罐内且作为液体氮储存在该氮罐内，运转从正常运转被切换到控制容量运转。在控制容量运转中，当缓冲罐内部压力为规定压力以上时，被推断为储存在氮罐内的相当量的氮蒸发并储存在缓冲罐内，运转从控制容量运转被切换到正常运转。

根据本发明，在冷冻负荷大的时候，在氮冷冻机和氮冷冻机的双方中进行冷冻运转，在氮冷冻机的冷冻负荷小的时候，由于使氮冷冻机的预冷回路停止并使氮冷冻机运转，所以可以一边发挥必需的冷冻能力一边实现运转效率的提高和电力消费的削减。

由于控制第2压缩机的容量使氮冷冻机的冷冻能力在控制容量运转时和正常运转时同等，所以可以抑制伴随运转的切换的氮冷冻机的能力的变动，可以实现运转效率的提高。

【附图说明】

图1是实施例1的超低温冷冻装置的构成图。

图2是冷冻机单元的构成图。

图3是表示控制容量运转时的制冷剂的循环的超低温冷冻装置的构成图。

图 4 是实施例 2 的超低温冷冻装置的构成图。

【具体实施方式】

下面根据附图说明本发明的实施例。

(实施例 1)

图 1 所示的超低温冷冻装置 10 是搭载在超导线性电动机车(图未示)上的所谓的车载用冷冻装置,是冷冻该超导线性电动机车的超导磁铁 90 的装置。

- 超低温冷冻装置的构成 -

超低温冷冻装置 10 备有生成且冷却保持液体氮的氮冷冻机 20 和冷却保持液氮的氮冷冻机 40。氮冷冻机 20 具有预冷氮的预冷冷冻机 30。这些氮冷冻机 20 和氮冷冻机 40 都用氮做制冷剂。

超低温冷冻装置 10 备有具有作为 JT 回路的第 1 回路 2A 和作为预冷冷冻机 30 的制冷回路的预冷回路 3A 的氮冷冻机 20,同时备有作为氮冷冻机 40 的制冷剂回路的第 2 回路 4A。在这些回路 2A, 3A, 4A 中,作为制冷剂的氮进行循环。即上述回路 2A, 3A, 4A 都是氮的循环回路。

再有,超低温冷冻装置 10 备有压缩机单元 1A 和收容超导磁铁 90 等的外槽 19。压缩机单元 1A 具有作为第 1 回路 2A、预冷回路 3A 和第 2 回路 4A 的共同的压缩机单元的功能。在压缩机单元 1A 中,设置了低段侧压缩机 21 和高段侧压缩机 22。这些压缩机 21, 22 是所谓的变频器压缩机,分别备有变频器(インルータ) 21a, 22a。在变频器 21a, 22a 上连接着自由控制这些变频器 21a, 22a 的控制器 5。

在低段侧压缩机 21 的吸入侧上连接着低压配管 24。在低段侧压缩机 21 的排出侧和高段侧压缩机 22 的吸入侧之间连接着中间压配管 32。在高段侧压缩机 22 的排出侧连接着高压配管 23。高压配管 23 分支成第 1 回路 2A 的高压配管 25、预冷回路 3A 的高压配管 26 和第 2 回路 4A 的高压配管 27。中间压配管 32 分支成预冷回路 3A 的中间压配管 28 和第 2 回路 4A 的中间压配管 29。低压配管 24 与第 1 回路 2A 的低压侧连接。

在低压配管 24 上通过气体供给配管 13 连接缓冲罐 12。在该气体供给配管 13 上设置低压控制阀 LPR。低压控制阀 LPR 被做成当低压配管 24 的压力（即，压缩机单元 1A 的低压侧压力）为规定值以下时自动开口。从而，当压缩机单元 1A 的低压侧压力低下且低压控制阀 LPR 开口时，缓冲罐 12 的氦气补充给低段侧压缩机 21。

在气体供给配管 13 上连接着从高压配管 23 上分支出的回收配管 14。在气体回收配管 14 上设置高压控制阀 HPR。高压控制阀 HPR 被做成当高压配管 23 的压力（即、压缩机单元 1A 的高压侧压力）成为规定值以上时自动地开口。从而，当压缩机单元 1A 的高压侧压力上升且高压控制阀 HPR 开口时，氦气体被收回到缓冲罐 12。

在外槽 19 上设置收容氦冷冻机 20 的冷冻机单元 1B、氦罐 11、氦冷冻机 40、氦罐 15、超导磁铁 90、及热屏蔽超导磁铁 90 的屏蔽板 16。外槽 19 是所谓真空隔热槽，其内部由真空隔热。

参照图 2 对冷冻机单元 1B 的构成进行说明。预冷冷冻机 30 用于预冷第 1 回路 2A 的高压氦气，由气压驱动型的 G-M（ギフォード・マクマホン）循环冷冻机构成，该循环冷冻机由氦气的压力使置换器往复移动，该预冷冷冻机 30 备有马达盖 34 和与马达盖 34 连接的 2 段构造的气缸 35。在马达盖 34 上连接着高压配管 26 和中间压配管 28。在气缸的大径部的顶端侧上设置冷却保持在规定的温度水平上的第 1 热站 36，在气缸 35 的小径部的顶端侧上设置冷却保持为比第 1 热站 36 还低的温度水平的第 2 热站 37。

氦冷冻机 20 的第 1 回路 2A 是通过使氦气进行焦耳汤姆逊膨胀产生大约 4K 水平的寒冷的回路。在氦冷冻机 20 上设置第 1 热交换器 43、第 2 热交换器 50、第 3 热交换器 60 和 JT 阀 44。上述热交换器 43、50、60 是使高压氦气和来自氦罐 11 的低压氦气进行热交换的热交换器，热交换温度按着第 1 热交换器 43、第 2 热交换器 50、第 3 热交换器 60 的顺序降低。

第 1 热交换器 43 的高压侧流路 41 的入口侧与高压配管 25 连接。在第 1 热交换器 43 的高压侧流路 41 的出口侧和第 2 热交换器 50 的高

压侧流路 51 的入口侧之间设置第 1 预冷部 31。第 1 预冷部 31 配置在预冷冷冻机 30 的第 1 热站 36 的外周部。在第 2 热交换器 50 的高压侧流路 51 的出口侧和第 3 热交换器 60 的高压侧流路 61 的入口侧之间设置第 2 预冷部 33。第 2 预冷部 33 配置在预冷冷冻机 30 的第 2 热站 37 的外周部。JT 阀 44 设置在第 3 热交换器 60 的高压侧流路 61 的出口侧和氮罐 11 之间。在 JT 阀 44 上连接着调节阀开度的操作杆 2d。

第 3 热交换器 60 的低压侧流路 62 经过制冷剂配管与氮罐 11 连接。第 3 热交换器 60 的低压侧流路 62、第 2 热交换器 50 的低压侧流路 52、第 1 热交换器 43 的低压侧流路 42 由制冷剂配管顺序连接。第 1 热交换器 43 的低压侧流路 42 连接到低压配管 24 上。

如图 1 所示，氮冷冻机 40 与高压配管 27 和中间压配管 29 连接。氮冷冻机 40 与预冷冷冻机 30 一样，由 G-M 循环冷冻机构成。但是，预冷冷冻机 30 和氮冷冻机 40 不局限于 G-M 循环冷冻机，不用说也可以使用斯特林冷冻机或脉动管冷冻机等其他种类的冷冻机。氮冷冻机 40 的热站 45 设置在氮罐 75 的内部。该热站 45 被做成冷却保持约 80K 水平的寒冷。

氮罐 11 和超导磁铁 90 通过联络配管 18 连接。超导磁铁 90 备有超导线圈 91 和收容超导线圈 91 的收容容器 92。在收容容器 92 的内部经常装满液体氮。超导线圈 91 被浸渍在液体氮内并被冷却。在氮罐 11 内设置液面传感器 70。液面传感器 70 通过信号线（图未示）连接到控制器 5 上，有关氮罐 11 内的液体氮的液面的信息自动地送往控制器 5。

在超导磁铁 90 的周围设置用于阻止超导磁铁 90 的侵入热的屏蔽板 16。在屏蔽板 16 上贴附着冷却管 17。冷却管 17 连接到氮罐 15 上，在其内部经常装满液体氮。为此，屏蔽板 16 通过冷却管 17 的液体氮维持在约 80K 水平的低温上。

-超低温冷冻装置的运转动作-

下面对超低温冷冻装置 10 的运转动作进行说明。在本超低温冷冻装置 10 中有选择地实行下面的正常运转和控制容量运转。

首先对正常运转进行说明。正常运转是氮冷冻机 20 的冷冻负荷大时实行的运转，主要是在超导线性电动机车的行驶中进行的运转。再有，只要由屏蔽板 16 进行热屏蔽，就与氮冷冻机 20 的冷冻负荷的比例有关，随着行驶产生的内部发热的比例变大。

在该正常运转中，平时由氮冷冻机 20 生成液体氮。超导磁铁 90 的超导线圈 91 由液体氮冷却并保持在临界温度以下。超导磁铁 90 或者氮罐 11 内的液体氮的一部分因行驶产生的发热和来自外部的侵入热等而蒸发，蒸发的氮气从氮罐 11 回收到氮冷冻机 20 中，由压缩机单元 1A 压缩后，再由氮冷冻机 20 液化。然后被液化了的氮被供给于氮罐 11，通过这样的氮的循环动作，通常，在氮罐 11 中经常储存规定量的液体氮，使超导线圈 91 稳定地被冷却。另一方面，在冷却管 17 或者氮罐 15 的内部蒸发的氮气由氮冷冻机 40 的热站 45 冷却，再进行液化。

下面对上述正常运转中的氮的循环动作进行说明。如图 1 实线箭头所示，首先，从高段侧压缩机 22 排出的高压氮气，分流到第 1 回路 2A 的高压配管 25、预冷冷冻机 30 的高压配管 26 和第 2 回路 4A 的高压配管 27 内。

流入预冷回路 3A 的高压配管 26 的高压氮气在预冷冷冻机 30 的汽缸 35（参照图 2）的各膨胀空间内膨胀。通过该氮气的膨胀，氮气的温度下降，各热站 36, 37 分别被冷却到规定的温度水平。膨胀后的氮气通过中间压配管 28 返回到压缩机单元 1A 中，通过中间压配管 32 被吸收到高段侧压缩机 22 内。

流入第 1 回路 2A 的高压配管 25 的高压氮气，如图 2 的实线箭头所示，在第 1 回路 2A 中流通。即，高压配管 25 的高压氮气，首先在第 1 热交换器 43 的高压侧流路 41 中流通。这时，在高压侧流路 41 中流通的高压氮气与在低压侧流路 42 中流通的低压氮气进行热交换而被冷却。例如，高压氮气在第 1 热交换器 43 中，从常温 300K 冷却到约 50K。之后，高压氮气流过第 1 预冷部 31，被预冷冷冻机 30 的第 1 热站 36 冷却。

接下来，高压氦气通过第 2 热交换器 50 的高压侧流路 51，与流通低压侧流路 52 的低压氦气进行热交换而被冷却。例如，高压氦气在流通第 2 热交换器 50 的高压侧流路 51 时被冷却到约 15K。之后，高压氦气流过第 2 预冷冷却部 33，由预冷冷冻机 30 的第 2 热站 37 进行冷却。

接下来，高压氦气通过第 3 热交换器 60 的高压侧流路 61，这时，高压氦气与流通低压侧流路 62 的低压氦气进行热交换而被冷却。

之后，高压氦气在 JT 阀 44 中进行焦耳汤姆逊膨胀，成为约 4K 的液体氦。而后，该液体氦流入氦罐 11 中。

另一方面，氦罐 11 内的低压氦气顺序流过第 3 热交换器 60 的低压侧流路 62、第 2 热交换器 50 的低压侧流路 52、第 1 热交换器 43 的低压侧流路 42，经由低压配管 24 被吸入到压缩机单元 1A 的低段侧压缩机 21 中。

流入第 2 回路 4A 的高压配管 27 的高压氦气，在氦冷冻机 40 的汽缸（图未示）的膨胀空间内进行膨胀，通过该氦气的膨胀，热站 45 被冷却并保持到约 80K。膨胀后的氦气，通过中间压配管 29 返回到压缩机 1A，通过中间压配管 32 被吸入到高段侧压缩机 22 中。

当氦罐 11 的内部压力上升时，伴随其压力上升，第 1 回路 2A 的高压侧压力上升。这样一来，高压控制阀 HPR 开口，第 1 回路 2A 的氦气的一部分通过回收配管 14 被回收到缓冲罐 12 内。其结果，第 1 回路 2A 的高压侧压力降低，返回到规定的压力。从而，氦罐 11 的内部压力也追随第 1 回路 2A 的高压侧压力而降低，返回到规定的压力上。

另一方面，当氦罐 11 的内部压力降低时，伴随其压力降低，第 1 回路 2A 的低压侧压力降低。这样一来，低压控制阀 LPR 开口，从缓冲罐 12 向第 1 回路 2A 供给氦气。其结果，第 1 回路 2A 的低压侧压力上升，返回到规定的压力。因此，氦罐 11 的内部压力也追随第 1 回路 2A 的低压侧压力而上升，返回到规定的压力上。如上述那样做了之后，氦罐 11 的内部压力被保持为一定。

另一方面，氮罐 15 的内部压力由氮冷冻机 40 的能力控制保持为一定。氮冷冻机 40 的能力由高段侧压缩机 22 的容量控制进行调整。

可是，当超导线性电动机车停止行驶时，在氮冷冻机 20 的冷冻负荷小时，因为超导磁铁 90 和氮罐 11 内的液体氮的蒸发量变少，所以由氮冷冻机 20 生成的液体氮的量过剩。为此，氮罐 11 内的液体氮的量增加，其液面上升，在本实施例中，当氮罐 11 内的液体氮的液面成为规定位置以上时，由控制器 5 把运转从上述正常运转切换到以下的控制容量运转。

控制容量运转是氮冷冻机 20 的冷冻负荷小时实行的运转，主要是在超导线性电动机车的停止中进行的运转。再有，当超导线性电动机车停止行驶时，由于没有了伴随行驶的发热，所以氮冷冻机 20 的冷冻负荷变小，但是由于氮冷冻机 40 的冷冻负荷大部分是由从外部辐射产生的侵入热，所以即使是停止行驶时，冷冻负荷也不变动。

在该控制容量运转中，氮冷冻机 20 中的预冷冷动机 30 的预冷回路 3A 停止运转，液体氮的生成被中止。另外，低段侧压缩机 21 和高段侧压缩机 22 继续运转，氮冷冻机 40 的运转被继续。

如图 3 中的实线箭头所示，在控制容量运转中，从高段侧压缩机 22 排出的氮气流过第 2 回路 4A 的高压配管 27，流入氮冷冻机 40 中。该氮气在氮冷冻机 40 的汽缸（图未示）的膨胀空间内进行膨胀，热站 45 被冷却到约 80K 并被保持。膨胀后的氮气通过中间压配管 29 返回到压缩机单元 1A 中，通过中间压配管 32 被吸入到高段压缩机 22 中。

在该控制容量运转时，由于使氮冷冻机 40 的氮的循环量成为一定，所以最好由第 2 变频器 22a 进行高段侧压缩机 22 的容量控制。因此，在本实施例中，当运转从正常运转切换到控制容量运转时，控制器 5 使高段侧压缩机 22 的运转频率减小。通过实行这样的控制，氮冷冻机 40 的能力被保持为与正常运转时的冷冻能力同等。

当继续控制容量运转时，氮罐 11 内的液体氮减少，不久液体氮将不足。另外，当超导线性电动机车再次开始行驶时，液体氮也成为不充足。因此，当氮罐 11 的液体氮的液面位于规定位置以下时，控制器

5把运转从控制容量运转切换到正常运转。其结果，预冷冷冻机30再开始运转，另外，高段侧压缩机22的运转频率上升，而且，氮冷冻机20的预冷冷冻机30再开始运转，液体氮的生成再被进行。

—效果—

这样，根据本实施例，在氮冷冻机20的冷冻负荷小时，由于在停止氮冷冻机20的预冷冷冻机30的运转的同时又实行继续氮冷冻机40的运转的控制容量运转，所以即能阻止来自外部的侵入热又可以防止氮冷冻机20的过剩冷冻运转。因此，可以提高运转效率，可以减少电力消费。

另外，在控制容量运转时，由于使高段侧压缩机22的运转频率减小，所以可以使氮冷冻机40的氮循环量维持在与正常运转时同等的量上，因此，可以防止起因于运转切换的氮冷冻机40的冷冻能力的变动，可以提高运转效率。

(实施例2)

如图4所示，作为检测氮罐11的液体氮的量的装置，也可以设置检测缓冲罐12的内部压力的压力传感器71来代替液面传感器70。

如上所述，在超低温冷冻装置10上设置了进行氮气的供给和回收的缓冲罐12，使循环氮的各回路2A，3A，4A的压力维持在规定的压力上，为此，在氮罐11内的液体氮的量和缓冲罐12的内部压力之间被发现有一定的相关关系。即，氮罐11的液体氮的蒸发量多时，液体氮的量减少而缓冲罐12的内部压力上升。与此相反，当氮罐11的液体氮的蒸发量减少时，液体氮的量增加，而缓冲罐12的内部压力降低。

因此，在本实施例中着眼于上述的相关关系，根据缓冲罐12的内部压力来推断氮冷冻机20的冷冻负荷，进行运转的切换。具体地讲，当缓冲罐12的内部压力为规定值以下时，把运转从正常运转切换到控制容量运转，另外，当缓冲罐12的内部压力为规定值以上时，把运转从控制容量运转切换到正常运转。

因此，即使在实施例2中，也可以得到与实施例1同样的效果。再有，在实施例2中，由于作为常温部分的缓冲罐12上设置传感器

71, 所以, 与在属于超低温部分的氮罐 11 上设置传感器时比, 可以提高可靠性。

本发明不局限于上述第 1~第 2 实施例, 可以以不脱离其精神或主要特征的其他各种形式进行实施。

这样, 上述的实施例, 在所有方面只不过是个示例, 不能限定性地进行解释。本发明的范围由权利要求的范围来表示, 不受说明书的任何约束。再有, 属于权利要求的范围的变形或变更全部在本发明的范围内。

图1

