



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116324310 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202180063640.5

(22) 申请日 2021.09.02

(30) 优先权数据

2020-160484 2020.09.25 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.03.16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/032255 2021.09.02

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/064989 JA 2022.03.31

(71) 申请人 住友重机械工业株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 森江孝明

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202

专利代理师 郝传鑫

(51) Int.Cl.

F25B 49/00 (2006.01)

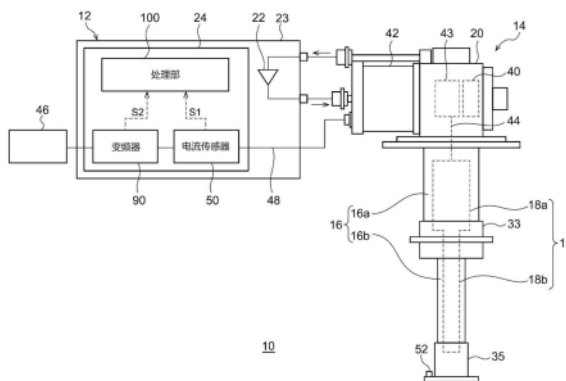
权利要求书3页 说明书16页 附图7页

(54) 发明名称

超低温制冷机及超低温制冷机的监控方法

(57) 摘要

超低温制冷机(10)能够执行稳态运行和稳态运行之前的冷却运行。超低温制冷机(10)具备:膨胀机马达(42),使超低温制冷机(10)的膨胀机(14)动作;变频器(90),构成为控制膨胀机马达(42)的运行频率,且其能够以在稳态运行中以低于冷却运行的运行频率的运行频率驱动膨胀机马达(42)的方式动作;电流传感器(50),测量从变频器(90)供给至膨胀机马达(42)的电流,并输出表示电流的马达电流信号;及处理部(100),至少根据稳态运行中的马达电流信号来监控膨胀机马达(42)。



1. 一种超低温制冷机,其能够执行稳态运行和稳态运行之前的冷却运行,其特征在于,具备:

膨胀机马达,使所述超低温制冷机的膨胀机动作;

变频器,构成为控制所述膨胀机马达的运行频率,且其能够以在所述稳态运行中以低于所述冷却运行的运行频率的运行频率驱动所述膨胀机马达的方式动作;

电流传感器,测量从所述变频器供给至所述膨胀机马达的电流,并输出表示所述电流的马达电流信号;及

处理部,至少根据所述稳态运行中的所述马达电流信号来监控所述膨胀机马达。

2. 根据权利要求1所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部根据所述膨胀机马达的动作条件来获取电流阈值,并根据所述马达电流信号将所述膨胀机马达的电流与所述电流阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

3. 根据权利要求1或2所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部具备将多个电流阈值分别与所述膨胀机马达的运行频率的多个值建立对应关联的运行频率/电流阈值表,且其根据所述运行频率/电流阈值表与所述膨胀机马达的运行频率的值来获取与所述运行频率的值相对应的电流阈值,并根据所述马达电流信号将所述膨胀机马达的电流与所述对应的电流阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

4. 根据权利要求3所述的超低温制冷机,其特征在于,

在所述运行频率/电流阈值表中,以在能够通过所述变频器控制的所述膨胀机马达的运行频率的范围中的至少一部分中所述运行频率越增加所述电流阈值越减少的方式将所述多个电流阈值分别与所述膨胀机马达的运行频率的所述多个值建立对应关联。

5. 根据权利要求3或4所述的超低温制冷机,其特征在于,

在所述运行频率/电流阈值表中,针对所述膨胀机马达的运行频率的所述多个值的每一个值,将比所述膨胀机马达中所容许的最大负载转矩小规定量的负载转矩作用于所述膨胀机马达时在该运行频率的值下的所述膨胀机马达的电流值作为电流阈值与所述运行频率的值建立对应关联。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部具备将多个电流阈值分别与施加于所述膨胀机马达的外部磁场的多个值建立对应关联的外部磁场/电流阈值表,且其根据所述外部磁场/电流阈值表与施加于所述膨胀机马达的外部磁场的值来获取与所述外部磁场的值相对应的电流阈值,并根据所述马达电流信号将所述膨胀机马达的电流与所述对应的电流阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

7. 根据权利要求6所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部根据所述马达电流信号来获取施加于所述膨胀机马达的外部磁场的估计值,并根据所述外部磁场/电流阈值表与施加于所述膨胀机马达的外部磁场的估计值来获取与所述外部磁场的估计值相对应的电流阈值。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部具备将多个电流阈值分别与流向所述变频器的输入电压的多个值建立对应关联的输入电压/电流阈值表,且其根据所述输入电压/电流阈值表与流向所述变频器的输入电压的值来获取与所述输入电压的值相对应的电流阈值,并根据所述马达电流信号将

所述膨胀机马达的电流与所述对应的电流阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

9. 根据权利要求1至7中任一项所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部具备将多个电流阈值分别与来自所述变频器的输出电压的多个值建立对应关联的输出电压/电流阈值表,且其根据所述输出电压/电流阈值表与来自所述变频器的输出电压的值来获取与所述输出电压的值相对应的电流阈值,并根据所述马达电流信号将所述膨胀机马达的电流与所述对应的电流阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

10. 一种超低温制冷机的监控方法,其特征在于,

所述超低温制冷机能够执行稳态运行和稳态运行之前的冷却运行,并且具备:膨胀机马达,使所述超低温制冷机的膨胀机动作;及变频器,构成为控制所述膨胀机马达的运行频率,且其能够以在所述稳态运行中以低于所述冷却运行的运行频率的运行频率驱动所述膨胀机马达的方式动作,

所述监控方法包括如下工序:

测量从所述变频器供给至所述膨胀机马达的电流;及

至少根据所述稳态运行中的所述膨胀机马达的电流来监控所述膨胀机马达。

11. 一种超低温制冷机,其特征在于,具备:

膨胀机马达,使超低温制冷机的膨胀机动作;

变频器,构成为控制所述膨胀机马达的运行频率;及

处理部,根据表示所述变频器或所述膨胀机马达的耗电电力的耗电电力信号来监控所述膨胀机马达。

12. 根据权利要求11所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部根据表示从所述变频器输出的所述变频器的耗电电力的耗电电力信号来监控所述膨胀机马达。

13. 根据权利要求12所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部根据所述膨胀机马达的动作条件来获取耗电电力阈值,并根据所述耗电电力信号将所述变频器的耗电电力与所述耗电电力阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

14. 根据权利要求12或13所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部具备将多个耗电电力阈值分别与所述膨胀机马达的运行频率的多个值建立对应关联的运行频率/耗电电力阈值表,且其根据所述运行频率/耗电电力阈值表与所述膨胀机马达的运行频率的值来获取与所述运行频率的值相对应的耗电电力阈值,并根据所述耗电电力信号将所述变频器的耗电电力与所述对应的耗电电力阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

15. 根据权利要求12至14中任一项所述的超低温制冷机,其特征在于,

所述处理部具备将多个耗电电力阈值分别与来自所述变频器的输出电压的多个值建立对应关联的输出电压/耗电电力阈值表,且其根据所述输出电压/耗电电力阈值表与来自所述变频器的输出电压的值来获取与所述输出电压的值相对应的耗电电力阈值,并根据所述耗电电力信号将所述变频器的耗电电力与所述对应的耗电电力阈值进行比较,从而监控所述膨胀机马达。

16. 一种超低温制冷机的监控方法,其特征在于,

所述超低温制冷机具备：膨胀机马达，使超低温制冷机的膨胀机动作；及变频器，构成控制所述膨胀机马达的运行频率，

所述监控方法包括如下工序：

获取所述变频器或所述膨胀机马达的消耗电力；根据所获取的所述消耗电力来监控所述膨胀机马达。

超低温制冷机及超低温制冷机的监控方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种超低温制冷机及超低温制冷机的监控方法。

背景技术

[0002] 以往,已知如下技术:为了在启动超低温制冷机时缩短冷却下降时间而通过变频器使膨胀机的驱动马达的转速增加的技术。在该启动运行中,在马达电流中检测出了异常变动时马达转速会降低,从而保护驱动马达。

[0003] 以往技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开平3-152353号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的技术课题

[0007] 在长期运行超低温制冷机时,施加于膨胀机的驱动马达的负载会逐渐增加。超过马达的规格上的极限的负载可能会成为产生马达失控等异常动作或故障、超低温制冷机的异常噪音、或者妨碍超低温制冷机的正常运行的原因。

[0008] 本发明的一种实施方式的示例性的目的之一在于提供一种有助于预测或提前预防长期运行引起的膨胀机马达的异常动作或故障的超低温制冷机及其监控方法。

[0009] 用于解决技术课题的手段

[0010] 根据本发明的一种实施方式,提供一种能够执行稳态运行和稳态运行之前的冷却运行的超低温制冷机。超低温制冷机具备:膨胀机马达,使超低温制冷机的膨胀机动作;变频器,构成为控制膨胀机马达的运行频率,且其能够以在稳态运行中以低于冷却运行的运行频率的运行频率驱动膨胀机马达的方式动作;电流传感器,测量从变频器供给至膨胀机马达的电流,并输出表示电流的马达电流信号;及处理部,至少根据稳态运行中的马达电流信号来监控膨胀机马达。

[0011] 根据本发明的一种实施方式,提供一种超低温制冷机的监控方法。超低温制冷机能够执行稳态运行和稳态运行之前的冷却运行,并且具备:膨胀机马达,使超低温制冷机的膨胀机动作;及变频器,构成为控制膨胀机马达的运行频率,且其能够以在稳态运行中以低于冷却运行的运行频率的运行频率驱动膨胀机马达的方式动作。该方法包括如下工序:测量从变频器供给至膨胀机马达的电流;及至少根据稳态运行中的膨胀机马达的电流来监控膨胀机马达。

[0012] 根据本发明的一种实施方式,提供一种超低温制冷机,其具备:膨胀机马达,使超低温制冷机的膨胀机动作;变频器,构成为控制膨胀机马达的运行频率;及处理部,根据表示变频器或膨胀机马达的消耗电力的消耗电力信号来监控膨胀机马达。

[0013] 根据本发明的一种实施方式,提供一种超低温制冷机的监控方法。超低温制冷机具备:膨胀机马达,使超低温制冷机的膨胀机动作;及变频器,构成为控制膨胀机马达的运

行频率。该方法包括如下工序：获取变频器或膨胀机马达的消耗电力；及根据所获取的消耗电力来监控膨胀机马达。

[0014] 另外，以上构成要件的任意组合或讲本发明的构成要件或表述在方法、装置、系统等之间相互置换的方式也同样作为本发明的实施方式而有效。

[0015] 发明效果

[0016] 根据本发明，能够提供一种有助于预测或提前预防长期运行引起的膨胀机马达的异常动作或故障的超低温制冷机及其监控方法。

附图说明

[0017] 图1是概略地表示实施方式所涉及的超低温制冷机的图。

[0018] 图2是概略地表示实施方式所涉及的超低温制冷机的图。

[0019] 图3是表示针对多个运行频率的值而测量了流过膨胀机马达的电流的有效值和负载占空比之间的关系而得的结果的图表。

[0020] 图4表示实施方式所涉及的膨胀机马达的运行频率与电流阈值之间的关系的一例。

[0021] 图5是实施方式所涉及的马达监控装置的框图。

[0022] 图6是表示实施方式所涉及的超低温制冷机的监控方法的流程图。

[0023] 图7是实施方式所涉及的马达监控装置的框图。

[0024] 图8是表示多个运行频率的值下的变频器的消耗电力与负载占空比之间的关系的图表。

[0025] 图9是另一实施方式所涉及的马达监控装置的框图。

[0026] 图10是表示另一实施方式所涉及的超低温制冷机的监控方法的流程图。

具体实施方式

[0027] 以下，参考附图对本发明的实施方式进行详细说明。在以下说明及附图中，对相同或等同的构成要件、部件及处理标注相同的符号，并适当省略重复说明。为了便于说明，在各附图中，适当设定各部的缩尺或形状，除非另有特别说明，否则其并不作限定性解释。实施方式是例示，其并不对本发明的范围作任何限定。实施方式中所记载的所有特征或其组合并不一定是发明的本质。

[0028] 图1及图2是概略地表示实施方式所涉及的超低温制冷机10的图。图1中示出了超低温制冷机10的外观，图2中示出了超低温制冷机10的内部结构。作为一例，超低温制冷机10为二级式的吉福德-麦克马洪(Gifford-McMahon;GM)制冷机。

[0029] 超低温制冷机10具备压缩机12和膨胀机14。超低温制冷机10还具备监控使膨胀机14动作的膨胀机马达42的监控装置，该监控装置具备电流传感器50和处理部100(详细内容将在后面叙述)。

[0030] 压缩机12构成为从膨胀机14回收超低温制冷机10的工作气体，并使回收的工作气体升压后再次将工作气体供给至膨胀机14。工作气体又被称为制冷剂气体，通常为氦气，但也可以使用其他适当的气体。

[0031] 另外，通常，从压缩机12供给至膨胀机14的工作气体的压力和从膨胀机14回收至

压缩机12的工作气体的压力均比大气压高很多,可以分别称为第1高压及第2高压。为了便于说明,将第1高压及第2高压分别简称为高压及低压。典型地,高压例如为2~3MPa。低压例如为0.5~1.5MPa,例如约为0.8MPa。为了便于理解,利用箭头表示工作气体的流动方向。

[0032] 压缩机12具备压缩机主体22和容纳压缩机主体22的压缩机框体23。压缩机12又被称为压缩机单元。

[0033] 压缩机主体22构成为在内部压缩从其吸入口吸入的工作气体并将其从吐出口吐出。压缩机主体22例如可以为涡旋式泵、回转式泵或使工作气体升压的其他泵。压缩机主体22也可以构成为吐出恒定的工作气体流量。或者,压缩机主体22也可以构成为使吐出的工作气体流量可变。压缩机主体22有时又被称为压缩仓。

[0034] 压缩机12也可以具备控制压缩机12的压缩机控制器24。压缩机控制器24不仅仅控制压缩机12,也可以集中控制超低温制冷机10,例如也可以控制膨胀机14(例如,膨胀机马达42)。压缩机控制器24可以安装于压缩机12,例如可以设置于压缩机框体23的外表面,也可以容纳于压缩机框体23中。或者,压缩机控制器24还可以配置在与压缩机12分开的位置,并且例如通过控制信号线与压缩机12连接。

[0035] 膨胀机14具备制冷机缸体16和置换器组件18。制冷机缸体16引导置换器组件18的直线往复运动,并且在与置换器组件18之间形成工作气体的膨胀室32、34。并且,膨胀机14具备压力切换阀40,所述压力切换阀40确定向膨胀室供给工作气体的进气开始时刻及从膨胀室排出工作气体的排气开始时刻。

[0036] 在本说明书中,为了说明超低温制冷机10的构成要件之间的位置关系,为了方便起见,将靠近置换器的轴向往复移动的上止点的一侧标记为“上”,将靠近下止点的一侧标记为“下”。上止点为膨胀空间的容积成为最大的置换器的位置,下止点为膨胀空间的容积成为最小的置换器的位置。在超低温制冷机10运行时,产生温度从轴向上方朝向下方下降的温度梯度,因此也可以将上侧称为高温侧,将下侧称为低温侧。

[0037] 制冷机缸体16具有第1缸体16a和第2缸体16b。作为一例,第1缸体16a和第2缸体16b为具有圆筒形状的部件,第2缸体16b的直径小于第1缸体16a的直径。第1缸体16a和第2缸体16b同轴配置,第1缸体16a的下端与第2缸体16b的上端刚性地连结在一起。

[0038] 置换器组件18具备彼此连结在一起的第1置换器18a和第2置换器18b,它们一体地移动。作为一例,第1置换器18a和第2置换器18b为具有圆筒形状的部件,第2置换器18b的直径小于第1置换器18a的直径。第1置换器18a和第2置换器18b同轴配置。

[0039] 第1置换器18a容纳于第1缸体16a中,第2置换器18b容纳于第2缸体16b中。第1置换器18a能够沿着第1缸体16a在轴向上往复移动,第2置换器18b能够沿着第2缸体16b在轴向上往复移动。

[0040] 如图2所示,第1置换器18a容纳第1蓄冷器26。第1蓄冷器26通过第1置换器18a的筒状的主体部中填充例如铜等的金属丝网或其他适当的第1蓄冷材料而形成。第1置换器18a的上盖部及下盖部可以为与第1置换器18a的主体部不同的部件,第1置换器18a的上盖部及下盖部可以通过紧固、焊接等适当的方法固定于主体,由此第1蓄冷材料容纳于第1置换器18a中。

[0041] 同样地,第2置换器18b容纳第2蓄冷器28。第2蓄冷器28通过第2置换器18b的筒状的主体部中填充例如铍等非磁性蓄冷材料、 HoCu_2 等磁性蓄冷材料或其他适当的第2蓄冷

材料而形成。第2蓄冷材料也可以形成为粒状。第2置换器18b的上盖部及下盖部可以为与第2置换器18b的主体部不同的部件,第2置换器18b的上盖部及下盖部可以通过紧固、焊接等适当的方法固定于主体,由此第2蓄冷材料容纳于第2置换器18b中。

[0042] 置换器组件18在制冷机缸体16的内部形成室温室30、第1膨胀室32及第2膨胀室34。为了与应通过超低温制冷机10冷却的所期望的物体或介质进行热交换,膨胀机14具备第1冷却台33和第2冷却台35。室温室30形成于第1置换器18a的上盖部与第1缸体16a的上部之间。第1膨胀室32形成于第1置换器18a的下盖部与第1冷却台33之间。第2膨胀室34形成于第2置换器18b的下盖部与第2冷却台35之间。第1冷却台33以包围第1膨胀室32的方式固定于第1缸体16a的下部,第2冷却台35以包围第2膨胀室34的方式固定于第2缸体16b的下部。

[0043] 第1蓄冷器26通过形成于第1置换器18a的上盖部的工作气体流路36a与室温室30连接,并且通过形成于第1置换器18a的下盖部的工作气体流路36b与第1膨胀室32连接。第2蓄冷器28通过从第1置换器18a的下盖部向第2置换器18b的上盖部形成的工作气体流路36c与第1蓄冷器26连接。并且,第2蓄冷器28通过形成于第2置换器18b的下盖部的工作气体流路36d与第2膨胀室34连接。

[0044] 为了不让第1膨胀室32、第2膨胀室34与室温室30之间的工作气流导入制冷机缸体16与置换器组件18之间的间隙而导入第1蓄冷器26及第2蓄冷器28,可以设置第1密封件38a及第2密封件38b。第1密封件38a可以以配置于第1置换器18a与第1缸体16a之间的方式安装于第1置换器18a的上盖部。第2密封件38b可以以配置于第2置换器18b与第2缸体16b之间的方式安装于第2置换器18b的上盖部。

[0045] 如图1所示,膨胀机14具备容纳压力切换阀40的制冷机壳体20。制冷机壳体20与制冷机缸体16结合在一起,由此构成容纳压力切换阀40及置换器组件18的气密容器。

[0046] 如图2所示,压力切换阀40构成为具备高压阀40a和低压阀40b并且在制冷机缸体16内产生周期性压力变动。压缩机12的工作气体吐出口经由高压阀40a与室温室30连接,压缩机12的工作气体吸入口经由低压阀40b与室温室30连接。高压阀40a和低压阀40b构成为选择性地交替开闭(即,在其中一个阀打开的情况下,另一个阀处于关闭状态)。

[0047] 压力切换阀40也可以采用回转阀的形式。即,压力切换阀40也可以构成为通过使阀盘相对于静止的阀主体进行旋转滑动来交替地开闭高压阀40a和低压阀40b。此时,膨胀机马达42可以使压力切换阀40的阀盘进行旋转的方式连结于压力切换阀40。例如,压力切换阀40配置成阀旋转轴与膨胀机马达42的旋转轴同轴。

[0048] 或者,高压阀40a和低压阀40b也可以为能够分别单独控制的阀,此时,压力切换阀40可以不与膨胀机马达42连结。

[0049] 膨胀机14具备膨胀机马达42和运动转换机构43。膨胀机马达42安装于制冷机壳体20。与压力切换阀40同样地,运动转换机构43也容纳于制冷机壳体20中。

[0050] 膨胀机马达42例如经由止转棒机构等运动转换机构43与置换器驱动轴44连结。运动转换机构43将膨胀机马达42所输出的旋转运动转换为置换器驱动轴44的直线往复运动。置换器驱动轴44从运动转换机构43朝向室温室30内延伸,并固定于第1置换器18a的上盖部。膨胀机马达42的旋转被运动转换机构43转换为置换器驱动轴44的轴向往复运动,由此置换器组件18在制冷机缸体16内沿轴向进行直线往复运动。

[0051] 此外,超低温制冷机10从商用电源(三相交流电源)等电源46供电。电源46通过供

电配线48与压缩机12及膨胀机马达42连接。由于膨胀机马达42经由压缩机12与电源46连接,因此也可以将压缩机12视为膨胀机马达42的电源。另外,压缩机12和膨胀机马达42也可以分别与单独的电源连接。

[0052] 膨胀机马达42例如为由三相交流电驱动的永久磁铁式马达。膨胀机马达42的运行频率被变频器90控制。变频器90设置于供电配线48上。膨胀机马达42能够以与等同于逆变器90的输出频率的膨胀机马达42的运行频率相对应的转速动作。作为一例,变频器90的输出频率可以在30Hz至100Hz的范围内变化,或在40Hz至70Hz的范围内变化。

[0053] 电流传感器50与膨胀机马达42连接,从而测量在超低温制冷机10的至少稳态运行中从变频器90供给至膨胀机马达42的电流。电流传感器50设置在变频器90与膨胀机马达42之间的供电配线48上。

[0054] 并且,电流传感器50构成为将表示所测量的电流的马达电流信号S1输出至处理部100。马达电流信号S1可以为表示供给至膨胀机马达42的电流的有效值的信号。电流传感器50通过有线或无线方式与处理部100通信连接。电流传感器50也可以为分别同时测量流过膨胀机马达42的三相电流的三相电流表,或者,也可以为测量流过膨胀机马达42的电流的其他形式的电流传感器。例如,电流传感器50也可以构成为,分别同时测量从变频器90输出至膨胀机马达42的三相电流,并将例如表示所测量的三相电流各自的大小的电压信号作为马达电流信号S1而输出至处理部100。马达电流信号S1可以为表示超低温制冷机10的运行中流过膨胀机马达42的电流的时间变化的电流波形数据。

[0055] 变频器90构成为将表示变频器90的输出频率(即,膨胀机马达42的运行频率)的输出频率信息S2输出至处理部100。或者,处理部100也可以根据从电流传感器50输入的马达电流信号S1运算出输出频率信息S2从而代替处理部100从变频器90接收输出频率信息S2。例如,处理部100可以根据流过膨胀机马达42的电流的波形来对每单位时间的电流峰的数量进行计数从而运算出膨胀机马达42的运行频率。或者,变频器90也可以具备电流传感器50(变频器90也可以具有测量输出电流的功能),处理部100可以从变频器90获取马达电流信号S1。作为马达电流信号S1,使用为了控制膨胀机马达42而由变频器90输出的电流的有效值的信号。

[0056] 处理部100构成为从电流传感器50(或变频器90)接收马达电流信号S1,并根据超低温制冷机10的至少稳态运行中的马达电流信号S1来监控膨胀机马达42。处理部100的详细内容将在后面叙述。

[0057] 在图示的例子中,电流传感器50、变频器90及处理部100内置于压缩机控制器24中,并设置于压缩机12上,但并不只限于此。电流传感器50、变频器90及处理部100也可以设置于膨胀机14(例如,搭载于膨胀机马达42等),或者也可以设置于供电配线48上的其他部位。

[0058] 在压缩机12及膨胀机马达42运行时,超低温制冷机10在第1膨胀室32及第2膨胀室34中产生周期性的容积变动及与其同步的工作气体的压力变动。典型地,在进气工序中,通过使低压阀40b关闭且使高压阀40a打开,使高压的工作气体从压缩机12经过高压阀40a流入室温室30,并且经过第1蓄冷器26供给至第1膨胀室32,接着经过第2蓄冷器28供给至第2膨胀室34。由此,第1膨胀室32及第2膨胀室34从低压升至高压。此时,置换器组件18从下止点朝向上止点移动,第1膨胀室32与第2膨胀室34的容积增大。若使高压阀40a关闭,则进

气工序结束。

[0059] 在排气工序中,通过使高压阀40a关闭且使低压阀40b打开,使高压的第1膨胀室32及第2膨胀室34与压缩机12的低压的工作气体吸入口连通,因此工作气体在第1膨胀室32及第2膨胀室34中膨胀,其结果,变为低压的工作气体从第1膨胀室32及第2膨胀室34经过第1蓄冷器26及第2蓄冷器28朝向室温室30排出。此时,置换器组件18从上止点朝向下止点移动,第1膨胀室32与第2膨胀室34的容积减小。工作气体从膨胀机14经过低压阀40b后回收至压缩机12。若使低压阀40b关闭,则排气工序结束。

[0060] 由此,形成制冷循环(例如,GM循环等),第1冷却台33及第2冷却台35被冷却至所期望的超低温。第1冷却台33能够被冷却至第1冷却温度(例如,在约20K~约40K的范围内)。第2冷却台35能够被冷却至低于第1冷却温度的第2冷却温度(例如,约1K~约4K)。

[0061] 超低温制冷机10能够执行稳态运行和稳态运行之前的冷却运行。冷却运行在启动超低温制冷机10时从室温急速冷却至超低温的运行模式,稳态运行为维持通过冷却运行冷却至超低温的状态的超低温制冷机10的运行模式。超低温制冷机10通过冷却运行被冷却至标准冷却温度,并在稳态运行中维持在包含该标准冷却温度的超低温的容许温度范围内。标准冷却温度根据超低温制冷机10的用途与设定而不同,例如在超导装置的冷却用途中,典型的标准冷却温度是约4.2K以下。在其他某一冷却用途中,标准冷却温度例如可以为约10K~20K,或10K以下。

[0062] 从冷却运行向稳态运行的切换可以由控制超低温制冷机10的控制器(例如压缩机控制器24)进行控制。超低温制冷机10也可以具备温度传感器52,所述温度传感器52测量第2冷却台35(和/或第1冷却台33)的温度,并输出表示测量温度的测量温度信号。压缩机控制器24根据来自温度传感器52的测量温度信号将第2冷却台35的测量温度与标准冷却温度(或上述的容许温度范围)进行比较并在测量温度高于标准冷却温度时执行冷却运行,而在测量温度为标准冷却温度以下时将冷却运行切换为稳态运行。

[0063] 变频器90能够如下动作:在稳态运行中以相较于冷却运行更低的运行频率驱动膨胀机马达42。例如,变频器90可以在控制器(例如,压缩机控制器24)的控制下在冷却运行中以预先设定的第1运行频率驱动膨胀机马达42,在稳态运行中以预先设定的第2运行频率驱动膨胀机马达42。但是,第2运行频率低于第1运行频率。控制器可以根据来自温度传感器52的测量温度信号及预先设定的运行频率曲线控制膨胀机马达42,运行频率曲线可以设定为测量温度越高施以越高的运行频率。

[0064] 或者,控制器(例如,压缩机控制器24)可以根据来自温度传感器52的测量温度信号来控制变频器90的输出频率以使测量温度与标准冷却温度之间偏差最小化(例如,根据PID控制等反馈控制)。因此,在温度传感器52的测量温度高于标准冷却温度的情况下,膨胀机马达42的运行频率增加,在温度传感器52的测量温度低于标准冷却温度情况下,膨胀机马达42的运行频率减少。因此,在冷却运行中,最初的测量温度为室温,此时膨胀机马达42的运行频率很高,由此能够实现急速冷却。运行频率随着向标准冷却温度降温而下降。在稳态运行中,例如在从周围入侵的热量等外部干扰导致测量温度变得高于标准冷却温度时,膨胀机马达42的运行频率增加,从而再次冷却至标准冷却温度。相反,例如在伴随热负载的减少等而测量温度变得低于标准冷却温度时,膨胀机马达42的运行频率减少,从而返回到标准冷却温度。由此,能够避免过度冷却,从而能够维持标准冷却温度。

[0065] 此外,在超低温制冷机10长期运行的过程中,施加于膨胀机马达42的负载趋于逐渐增加。作为其原因,例如可举出:来自压缩机12内的润滑油或蓄冷材料等的各种微粒会积蓄在膨胀机14内,这会导致膨胀机14内的压力损耗变大,因此,随着工作气体相对于膨胀室的流出/流入而施加于膨胀机马达42的负载会逐渐增加。另外,还可以举出:水分被膨胀机14内的置换器吸收,导致置换器在膨胀机14内稍微膨胀使得其与缸体之间的间隙变小,这会导致置换器的滑动阻力变高。

[0066] 如此,若膨胀机马达42的驱动负载变高,则超过马达的规格上的极限(例如,瞬时最大转矩或其他额定转矩)的负载转矩施加于膨胀机马达42的风险会变高。超过膨胀机马达42的规格上的极限的负载可能会成为膨胀机马达42失控等异常动作或故障、膨胀机14的异常噪音、或者妨碍膨胀机14的正常运行的原因。

[0067] 通过监控流过膨胀机马达42的电流并检测伴随膨胀机马达42的异常的电流的异常变动,能够掌握膨胀机马达42的异常发生。然而,在通过变频器90来控制膨胀机马达42的运行频率(转速)的情况下,不仅在膨胀机马达42出现异常时马达电流会变动,在正常动作中运行频率发生了变更时,马达电流也会变动。并且,在将膨胀机14设置于强磁场环境的情况下,若外部磁场作用于膨胀机马达42,则马达电流也会根据磁场的大小而变动。在变频器90的输入电压发生了变动时,马达电流也会变动。马达电流可以根据膨胀机马达42的各种动作条件而变动,因此区分伴随膨胀机马达42的异常的电流的异常变动及膨胀机马达42的正常动作中的基于动作条件的变化而引起的电流的变动并不容易。

[0068] 图3是表示针对多个运行频率的值而测量了流过膨胀机马达42的电流的有效值与负载占空比之间的关系而得的结果的图表。纵轴表示从变频器90供给至膨胀机马达42并被电流传感器50测量的电流的有效值。横轴所示的负载占空比表示实际作用于膨胀机马达42的负载转矩相对于膨胀机马达42所容许的最大负载转矩(例如,瞬时最大转矩)的比(%)。因此,在负载占空比超过100%时,在膨胀机马达42中实际会产生失控等异常动作,或者产生异常动作的可能性高。

[0069] 由图3可知,在所给予的某一负载占空比(可以为任意值,例如90%)下,在运行频率为40Hz的情况和50Hz的情况下,变频器以使马达电流值几乎相同的方式进行控制。如此,在运行频率的值比较低的情况下,几乎看不到马达电流值对运行频率的依赖性。另一方面,在图3的例子中,在运行频率在50Hz至70Hz的范围,随着运行频率的值变高,马达电流值变小。如此,在运行频率的值比较高的情况下,马达电流值存在运行频率依赖性,马达电流值有时会根据运行频率的值而不同。

[0070] 接着,针对所给予的某一运行频率,观察负载占空比变化时的马达电流值的变化。可知,不管在哪个运行频率的值,马达电流值虽不同,但随着负载占空比变大,马达电流值均趋于增加。

[0071] 因此,在某一运行频率的值(例如,60Hz)中,可以将负载占空比小于100%且充分大(例如,90%~98%)时的马达电流值用作电流阈值。在超过该电流阈值的电流流过膨胀机马达42时(即,被电流传感器50测量时),与该负载占空比相应的大的负载施加于膨胀机马达42。可以将此视为预测到了膨胀机马达42的异常动作,从而能够采取提前预防异常动作的产生的对策,例如,发出警告、降低运行频率、停止超低温制冷机10的运行等。

[0072] 然而,在膨胀机马达42以更高的运行频率的值(例如,70Hz)驱动时,马达电流值相

比上述60Hz时变得相当小,达不到设定为60Hz用的电流阈值。因此,将膨胀机马达42的70Hz运行中的马达电流值与60Hz用的阈值进行比较,也得不到对预测膨胀机马达42的异常有效的结果。相反,在膨胀机马达42以更低的运行频率的值(例如,50Hz)驱动时,马达电流值相比上述60Hz时变得相当大,即使为相当小的负载占空比,也会导致超过设定为60Hz用的电流阈值。将膨胀机马达42的50Hz运行中的马达电流值与60Hz用的阈值进行比较,也依然得不到对预测膨胀机马达42的异常有效的结果。

[0073] 因此,在膨胀机马达42的运行频率被变频器90控制的情况下,若仅设定一个电流阈值,则通过监控流过膨胀机马达42的电流难以预测或提前预防膨胀机马达42的异常动作或故障。因此,在实施方式中,针对膨胀机马达42的运行频率的多个值分别设定电流阈值。图4中例示了这种多个电流阈值。

[0074] 图4表示实施方式所涉及的膨胀机马达42的运行频率与电流阈值之间的关系的一例。在图4中示出了在特定的负载占空比的值(具体而言,负载占空比90%与95%)下的与图3所示的运行频率相对应的马达电流值与负载占空比之间的关系。因此,如上所述,在运行频率比较低时(图4中在40Hz至50Hz的运行频率范围中),马达电流值大致恒定。在运行频率比较高时(图4中在50Hz至70Hz的运行频率范围中),随着运行频率的值增加,马达电流值会降低。由图4可知,若负载占空比的值增加,则马达电流值增加。

[0075] 图4所示的膨胀机马达42的运行频率与电流阈值之间的关系也可以用作后述的运行频率/电流阈值表62的一例子。在运行频率的值与所测量的马达电流值的组合位于比图表更靠上侧的区域的情况下(即,在膨胀机马达42以该运行频率驱动,此时由电流传感器50测量的电流值超过与该运行频率相对应的电流阈值的情况下),能够视为预测到了膨胀机马达42的异常动作。在运行频率的值与所测量的马达电流值的组合位于比图表更靠下侧的区域的情况下,由于所测量的电流值并未超过电流阈值,因此能够视为不会出现异常。

[0076] 由此,通过将多个电流阈值分别与膨胀机马达42的运行频率的多个值建立对应关联,即使在由变频器90控制膨胀机马达42的运行频率的情况下,也能够良好地判定失控等异常动作在现实中产生的情况或者产生的可能性高的情况。因此,能够采取提前预防膨胀机马达42的这种异常动作的对策。

[0077] 根据超低温制冷机10的用途(例如,用于超导电磁体的冷却等),有时将膨胀机14设置于强磁场环境中使用。在这种情况下,作用于膨胀机马达42的外部磁场会影响膨胀机马达42的动作,可能会使流过膨胀机马达42的电流变动。根据本发明人的研究,在所给予的运行频率且所给予的负载占空比下,马达电流值具有随着外部磁场的增加而增加的趋势。尤其,在膨胀机马达42为永久磁铁式马达的情况下,有这样的趋势。作为示例性的动作条件,在运行频率为50Hz或60Hz并且负载占空比为90%以上时,与外部磁场为0高斯的情况相比,在外部磁场为500高斯的情况下,马达电流值例如会增加大约5%~10%。

[0078] 并且,典型地,在超低温制冷机10的规格上,从电源46流向变频器90的输入电压容许某种程度(例如,±10%程度)的变动。在流向变频器90的输入电压发生变动的情况下,流过膨胀机马达42的电流也会变动。根据本发明人的研究,在所给予的运行频率且所给予的负载占空比下,随着输入电压从低于电源46的规定电压值(例如200V)的电压值增加至该规定的电压值,马达电流值趋于增加。

[0079] 因此,不仅仅是膨胀机马达42的运行频率,针对外部磁场或输入电压等膨胀机马

达42的其他动作条件,也将多个电流阈值分别与该动作条件的多个值建立对应关联,从而能够良好地判断膨胀机马达42可能会产生异常动作的情况,能够采取提前预防异常动作的产生的对策。

[0080] 图5是实施方式所涉及的马达监控装置的框图。该监控装置具备处理部100,处理部100具备电流阈值设定部60和比较部70。电流阈值设定部60具备运行频率/电流阈值表62、外部磁场/电流阈值表64及输入电压/电流阈值表66。监控装置还可以具备以视觉方式通知表示监控结果的信息的通知机构80,通知机构80例如可以包括显示器82。通知机构80也可以以声音方式通知诊断结果(例如,扬声器等)。通知机构80也可以经由因特网等网络向远程的机器发送诊断结果。

[0081] 处理部100构成为至少根据稳态运行中的马达电流信号S1来监控膨胀机马达42。因此,处理部100可以从控制器(例如,压缩机控制器24)获取表示超低温制冷机10的当前的运行模式的信息或者也可以根据来自温度传感器52的测量温度信号S3来判定当前的运行模式,并在当前的运行模式为稳态运行时可以根据马达电流信号S1来监控膨胀机马达42。除此之外或者取而代之,处理部100也可以在当前的运行模式为冷却运行时根据马达电流信号S1来监控膨胀机马达42。

[0082] 处理部100构成为根据膨胀机马达42的动作条件来获取电流阈值 Th ,并根据马达电流信号S1将膨胀机马达42的电流(例如,电流的有效值)与电流阈值 Th 进行比较,从而监控膨胀机马达42。因此,电流阈值设定部60使用运行频率/电流阈值表62、外部磁场/电流阈值表64及输入电压/电流阈值表66中的至少一个电流阈值表并根据膨胀机马达42的动作条件(例如,马达电流信号S1、输出频率信息S2、外部磁场的大小及流向变频器90的输入电压等)来获取电流阈值 Th 。

[0083] 运行频率/电流阈值表62为将多个电流阈值分别与膨胀机马达42的运行频率的多个值建立对应关联的表,外部磁场/电流阈值表64为将多个电流阈值分别与施加于膨胀机马达42的外部磁场的多个值建立对应关联的表,输入电压/电流阈值表66为将多个电流阈值分别与流向变频器90的输入电压的多个值建立对应关联的表。运行频率/电流阈值表62、外部磁场/电流阈值表64及输入电压/电流阈值表66被预先设定并保存于处理部100中。这些电流阈值表能够根据设计者的经验或设计者的实验或模拟试验等而适当设定。

[0084] 例如,电流阈值设定部60构成为,根据运行频率/电流阈值表62与膨胀机马达42的运行频率的值来获取与该运行频率的值相对应的电流阈值 Th 。

[0085] 例如,如图4所示,运行频率/电流阈值表62可以在通过变频器90能够控制的膨胀机马达42的运行频率的范围中的至少一部分(例如,该范围中的高频率侧的区域)中运行频率越增加电流阈值越减少的方式将多个电流阈值分别与膨胀机马达42的运行频率的多个值建立对应关联。

[0086] 并且,运行频率/电流阈值表62也可以针对膨胀机马达42的运行频率的多个值的每一个值将比膨胀机马达42所容许的最大负载转矩小规定量的负载转矩作用于膨胀机马达42时(即,规定值的负载占空比时)在该运行频率的值下的膨胀机马达42的电流值作为电流阈值与该运行频率的值建立对应关联。规定值的负载占空比例如可以选自80%以上且小于100%的范围、或90%以上且98%以下的范围。

[0087] 多个运行频率/电流阈值表62可以被预先设定,这些多个运行频率/电流阈值表62

也可以分别与多个不同的负载占空比的值建立对应关联。电流阈值设定部60也可以根据选自多个运行频率/电流阈值表62中的运行频率/电流阈值表62与膨胀机马达42的运行频率的值来获取与该运行频率的值相对应的电流阈值 Th 。

[0088] 电流阈值设定部60可以构成为根据外部磁场/电流阈值表64与施加于膨胀机马达42的外部磁场的值来获取与该外部磁场的值相对应的电流阈值 Th 。外部磁场的值可以通过搭载于超低温制冷机10(例如,膨胀机14)或设置于其附近的磁场传感器54来测量,并且可以将该所测量的外部磁场的值输入到处理部100供电流阈值设定部60使用。

[0089] 或者,处理部100可以构成为根据马达电流信号 $S1$ 来获取施加于膨胀机马达42的外部磁场的估计值,并根据外部磁场/电流阈值表64与施加于膨胀机马达42的外部磁场的估计值来获取与外部磁场的估计值相对应的电流阈值 Th 。根据本发明人的研究,只要外部磁场不起作用或者外部磁场充分小,则流过膨胀机马达42的三相电流波形具有对称性,与此相对,随着外部磁场增加,三相电流波形的非对称性有扩大的趋势。作为该非对称性,例如可举出三相(U相、V相、W相)之间的电流波形的峰值的偏差。尤其,膨胀机马达42的线圈配线为星形联结的情况下,会产生不平衡电流,因此与外部磁场相对应的电流波形的非对称性的扩大倾向变得显著。例如,根据可以从马达电流信号 $S1$ 运算出的外部磁场起因参数(U相、V相、W相的电流波形的峰中的最大值或最小值或者最大值与最小值的差等),能够从马达电流信号 $S1$ 获取膨胀机马达42的外部磁场的估计值。

[0090] 电流阈值设定部60可以构成为根据输入电压/电流阈值表66与流向变频器90的输入电压的值来获取与该输入电压的值相对应的电流阈值 Th 。表示流向变频器90的输入电压的值的消息可以从变频器90输入到处理部100供电流阈值设定部60使用。

[0091] 多个外部磁场/电流阈值表64可以被预先设定,这些多个外部磁场/电流阈值表64也可以分别与多个不同的运行频率的值建立对应关联。即,例如,也可以预先设定第1及第2外部磁场/电流阈值表64,并在以第1运行频率的值(例如,70Hz)驱动膨胀机马达42时使用第1外部磁场/电流阈值表64,在以与第1运行频率的值不同的第2运行频率的值(例如,60Hz)驱动膨胀机马达42时使用第2外部磁场/电流阈值表64。同样地,多个输入电压/电流阈值表66也可以被预先设定,这些多个输入电压/电流阈值表66也可以分别与多个不同的运行频率的值建立对应关联。

[0092] 比较部70根据马达电流信号 $S1$ 将膨胀机马达42的电流(例如,电流的有效值)与所获取的电流阈值 Th 进行比较,并且根据比较结果来生成监控结果数据 $D1$ 。监控结果数据 $D1$ 被发送到通知机构80,监控结果例如显示在显示器82上从而通知给使用者。在预测到膨胀机马达42的异常动作的情况下,通知机构80也可以通过警报音通知使用者。代替这样的立即通知(或,除了这样的立即通知以外),也可以将监控结果数据 $D1$ 存储于处理部100中以便能够根据需要向使用者提示。

[0093] 处理部100的内部结构在硬件结构方面通过以计算机的CPU或存储器为代表的元件或电路来实现,在软件结构方面则通过计算机程序等来实现,但在图中,适当地描绘了通过它们的协作来实现的功能框。本领域技术人员应当可以理解,这些功能框能够通过硬件及软件的组合以各种形式实现。

[0094] 例如,处理部100可以通过CPU(Central Processing Unit:中央处理器)、微型计算机等处理器(硬件)和由处理器(硬件)执行的软件程序的组合来实现。这样的硬件处理器

例如可以由FPGA(Field Programmable Gate Array:现场可编程门阵列)等可编程逻辑设备构成,也可以为像可编程逻辑控制器(PLC)那样的控制电路。软件程序也可以为用于使处理部100执行超低温制冷机10的监控的计算机程序。

[0095] 图6是表示实施方式所涉及的超低温制冷机10的监控方法的流程图。首先,如图6所示,在超低温制冷机10的运行中(例如,稳态运行中),利用电流传感器50测量从变频器90供给至膨胀机马达42的电流(S10)。接着,至少根据稳态运行中的膨胀机马达42的电流来监控膨胀机马达42(S20)。

[0096] 在S20中,根据膨胀机马达42的动作条件(例如,马达电流信号S1、输出频率信息S2、外部磁场的大小及流向变频器90的输入电压等)来获取电流阈值Th(S21)。将所测量的膨胀机马达42的电流值与所获取的电流阈值Th进行比较(S22)。若测量电流值超过了电流阈值Th(S22的是),则比较部70判定为预测到膨胀机马达42的异常动作(S23),并输出表示该内容的监控结果数据D1。若测量电流值为电流阈值Th以下(S22的否),比较部70判定为没有预测到膨胀机马达42的异常动作(S24),并输出表示该内容的监控结果数据D1。由此,本监控方法结束。

[0097] 另外,在预测到膨胀机马达42的异常动作的情况下,超低温制冷机10的控制器(例如,压缩机控制器24)例如可以采取提前预防异常动作的产生的对策,例如,发出警告、降低膨胀机马达42的运行频率、停止超低温制冷机10的运行等。

[0098] 处理部100定期反复执行上述监控。膨胀机马达42的驱动负载的增加为长时间逐渐进展的长期现象,因此只要在超低温制冷机10的运行中(例如,稳态运行中)偶尔进行该监控方法则实用上是充分的。或者,也可以在超低温制冷机10的运行中始终重复进行监控方法。

[0099] 在超低温制冷机10长期连续运行的情况下,运行时间的大部分成为稳态运行。通过在稳态运行中进行监控,能够掌握超低温制冷机10的构成要件经时劣化导致的膨胀机马达42的负载转矩的逐渐增加。

[0100] 如上所述,根据实施方式,测量从变频器90供给至膨胀机马达42的电流,并至少根据稳态运行中的膨胀机马达42的电流(例如,电流的有效值)来监控膨胀机马达42,从而能够预测或提前预防长期运行引起的膨胀机马达42的异常动作或故障。

[0101] 若放任膨胀机马达42的负载增大,则最终会导致超低温制冷机10出现故障。若出现故障,则不得不停止利用超低温制冷机10的超低温系统(例如,超导机器或MRI系统等)的运转,直至超低温制冷机的修理或更换新品等维护完成。在突发故障的情况下,修复所需的时间往往相对较长。

[0102] 然而,根据实施方式,能够监控膨胀机马达42,并向超低温制冷机10的使用者或对超低温制冷机10进行维护的技术人员通知监控结果。根据监控结果,能够将对超低温系统的运转带来的影响降低为最小。

[0103] 此外,在一种实施方式中,有时存在来自变频器90的输出电压(即,流向膨胀机马达42的输入电压)与流向变频器90的输入电压不同的情况。例如,变频器90可以具有在输入电压超过了规定的电压值(例如200V)时将输出电压限制在该规定的电压值的功能。但是,变频器90也可以不具有升压功能。此时,若输入电压小于规定的电压值,则输入电压与输出电压相等,但是,若输入电压超过了规定的电压值,则输入电压与输出电压不同(输出电压

变得比输入电压小)。并且,作为另一例子,根据变频器90对马达运行频率的控制方式,输入电压与输出电压有可能会不同。例如,在典型的Vf控制中,即使输入电压为规定的电压值,根据运行频率,输出电压有时也会低于该规定的电压值。

[0104] 因此,作为为了设定电流阈值而参考的参数的例子,除了可以使用运行频率等上述的马达动作条件以外(或代替这些动作条件中的任一参数),还可以使用输出电压。

[0105] 图7是实施方式所涉及的马达监控装置的框图。监控装置具备处理部100,所述处理部100构成根据来自电流传感器50的马达电流信号S1来监控膨胀机马达42。处理部100可以在超低温制冷机10的至少稳态运行中监控膨胀机马达42。监控装置也可以具备通知表示监控结果的信息的通知机构80,通知机构80例如可以包括显示器82。

[0106] 处理部100构成根据膨胀机马达42的动作条件来获取电流阈值 T_h ,并根据马达电流信号S1将膨胀机马达42的电流(例如,电流的有效值)与电流阈值 T_h 进行比较,从而监控膨胀机马达42。

[0107] 处理部100具备电流阈值设定部60和比较部70。电流阈值设定部60具备运行频率/电流阈值表62及输出电压/电流阈值表68。运行频率/电流阈值表62为将多个电流阈值分别与膨胀机马达42的运行频率的多个值建立对应关联的表,输出电压/电流阈值表68为将多个电流阈值分别与来自变频器90的输出电压的多个值建立对应关联的表。这些电流阈值表被预先设定并保存于处理部100中。这些电流阈值表可以根据设计者的经验或设计者的实验或模拟试验等而适当设定。

[0108] 例如,电流阈值设定部60构成,根据运行频率/电流阈值表62与膨胀机马达42的运行频率的值来获取与该运行频率的值相对应的电流阈值 T_h 。变频器90构成将表示变频器90的输出频率(即,膨胀机马达42的运行频率)的值的输出频率信息S2输出至处理部100。

[0109] 电流阈值设定部60可以构成根据输出电压/电流阈值表68与来自变频器90的输出电压的值来获取与该输出电压的值相对应的电流阈值 T_h 。表示来自变频器90的输出电压的值的的信息可以从变频器90输入到处理部100供电流阈值设定部60使用。例如,变频器90可以构成除了将输出频率信息S2输出到处理部100以外,还将表示变频器90的输出电压(即,流向膨胀机马达42的输入电压)的值的输出电压信号S4输出到处理部100。

[0110] 多个输出电压/电流阈值表68可以被预先设定,这些多个输出电压/电流阈值表68也可以分别与多个不同的运行频率的值建立对应关联。例如,也可以预先设定第1及第2输出电压/电流阈值表68,并在以第1运行频率的值(例如,70Hz)驱动膨胀机马达42时使用第1输出电压/电流阈值表68,在以与第1运行频率的值不同的第2运行频率的值(例如,60Hz)驱动膨胀机马达42时使用第2输出电压/电流阈值表68。

[0111] 比较部70根据马达电流信号S1将膨胀机马达42的电流(例如,电流的有效值)与所获取的电流阈值 T_h 进行比较,并且根据比较结果来生成监控结果数据D1。与参考图5进行说明的实施方式同样地,监控结果数据D1被输送到通知机构80,监控结果例如显示在显示器82上从而通知给使用者。

[0112] 由此,通过根据膨胀机马达42的电流(例如,电流的有效值)来监控膨胀机马达42,也能够预测或提前预防长期运行引起的膨胀机马达42的异常动作或故障。

[0113] 在上述实施方式中,对基于马达电流进行监控的例子进行了说明,但同样也可以基于变频器90或膨胀机马达42的消耗电力进行监控。以下对这样的实施方式进行叙述。

[0114] 图8是表示多个运行频率的值下的变频器90的消耗电力与负载占空比之间的关系的图表。该图表基于本发明人的测量结果。纵轴表示变频器90的消耗电力的值。与图3同样地,横轴表示膨胀机马达42的负载占空比。

[0115] 由图8可知,随着负载占空比变大,消耗电力值趋于增加。因此,针对某一运行频率的值(例如,60Hz),可以将负载占空比小于100%且充分大时(例如,90%~98%)的消耗电力值用作消耗电力阈值。在变频器90(或膨胀机马达42)的消耗电力超过了该消耗电力阈值时,与该负载占空比相应的大负载施加于膨胀机马达42。可以将此视为预测到了膨胀机马达42的异常动作,从而能够采取提前预防异常动作的产生的对策,例如发出警告、降低运行频率及停止超低温制冷机10的运行等。

[0116] 消耗电力值依赖于膨胀机马达42的运行频率。如图8所示,在运行频率为50Hz和60Hz的情况下,表示相同负载占空比的消耗电力值是不同的。因此,在实施方式中,针对膨胀机马达42的运行频率的多个值分别设定消耗电力阈值。

[0117] 与上述的基于马达电流的监控相比,基于消耗电力的膨胀机马达42的监控有以下优点:能够减少外部磁场的影响带来的误预测的可能性。如上所述,外部磁场有时使流过膨胀机马达42的电流增减。外部磁场有时还对消耗电力带来同样的增减。然而,根据本发明人的测量及研究,负载占空比变化了某单位量(例如1%)时的消耗电力值的变化量有大于负载占空比变化了单位量时的马达电流的变化量的趋势。换言之,图8的图表的斜度有大于图3的图表的斜度的趋势。因此,与由某大小的外部磁场引起的消耗电力值的变化相当的外观上的负载占空比变化有小于与由相同大小的外部磁场引起的马达电流的变化相当的外观上的负载占空比变化的趋势。因此,在基于消耗电力的膨胀机马达42的监控中,能够相对降低外部磁场的影响。

[0118] 并且,与图3所示的马达电流值与负载占空比之间的关系相比,如图8所示,消耗电力值与负载占空比之间的关系更靠近直线。因此,还有容易监控负载占空比较小的区域中的运行状况的优点。

[0119] 图9是另一实施方式所涉及的马达监控装置的框图。监控装置具备根据表示变频器90的消耗电力的消耗电力信号S5来监控膨胀机马达42的处理部100。变频器90可以构成为除了将输出频率信息S2及输出电压信号S4输出到处理部100以外,还将表示变频器90的消耗电力的消耗电力信号S5输出到处理部100,处理部100根据从变频器90输出的消耗电力信号S5来监控膨胀机马达42。监控装置也可以具备通知表示监控结果的信息的通知机构80,通知机构80例如可以包括显示器82。

[0120] 处理部100根据膨胀机马达42的动作条件来获取消耗电力阈值Th2,并根据消耗电力信号S5将变频器90的消耗电力值与消耗电力阈值Th2进行比较,从而监控膨胀机马达42。

[0121] 处理部100具备消耗电力阈值设定部61和比较部70。消耗电力阈值设定部61具备运行频率/消耗电力阈值表63及输出电压/消耗电力阈值表69。运行频率/消耗电力阈值表63为将多个消耗电力阈值分别与膨胀机马达42的运行频率的多个值建立对应关联的表,输出电压/消耗电力阈值表69为将多个消耗电力阈值分别与来自变频器90的输出电压的多个值建立对应关联的表。这些消耗电力阈值表被预先设定,并保存于处理部100。这些消耗电力阈值表可以根据设计者的经验或设计者的实验或模拟试验等而适当设定。

[0122] 例如,消耗电力阈值设定部61构成为根据运行频率/消耗电力阈值表63与膨胀机

马达42的运行频率的值来获取与该运行频率的值相对应的消耗电力阈值Th2。变频器90构成为将表示变频器90的输出频率(即,膨胀机马达42的运行频率)的值的输出频率信息S2输出至处理部100。

[0123] 运行频率/消耗电力阈值表63也可以针对膨胀机马达42的运行频率的多个值的每一个值将比膨胀机马达42所容许的最大的负载转矩小规定量的负载转矩作用于膨胀机马达42时(即,规定值的负载占空比时)在该运行频率的值下的变频器90(或膨胀机马达42)的消耗电力值作为消耗电力阈值与该运行频率的值建立对应关联。规定值的负载占空比例例如可以选自80%以上且小于100%的范围、或90%以上且98%以下的范围。

[0124] 多个运行频率/消耗电力阈值表63可以被预先设定,这些多个运行频率/消耗电力阈值表63也可以分别与多个不同的负载占空比的值建立对应关联。消耗电力阈值设定部61也可以根据选自多个运行频率/消耗电力阈值表63的运行频率/消耗电力阈值表63与膨胀机马达42的运行频率的值来获取与该运行频率的值相对应的消耗电力阈值Th2。

[0125] 消耗电力阈值设定部61可以构成为根据输出电压/消耗电力阈值表69与来自变频器90的输出电压的值来获取与该输出电压的值相对应的消耗电力阈值Th2。变频器90可以构成为除了将输出频率信息S2输出到处理部100以外,还将表示变频器90的输出电压(即,流向膨胀机马达42的输入电压)的值的输出电压信号S4输出到处理部100。

[0126] 多个输出电压/消耗电力阈值表69可以被预先设定,这些多个输出电压/消耗电力阈值表69也可以分别与多个不同的运行频率的值建立对应关联。例如,也可以预先设定第1及第2输出电压/消耗电力阈值表69,并在以第1运行频率的值(例如,70Hz)驱动膨胀机马达42时使用第1输出电压/消耗电力阈值表69,在以与第1运行频率的值不同的第2运行频率的值(例如,60Hz)驱动膨胀机马达42时使用第2输出电压/消耗电力阈值表69。

[0127] 比较部70根据消耗电力信号S5将变频器90的消耗电力值与所获取的消耗电力阈值Th2进行比较,并根据比较结果来生成监控结果数据D1。与参考图5进行说明的实施方式同样地,监控结果数据D1被输送到通知机构80,监控结果例如显示在显示器82上从而通知给使用者。

[0128] 另外,处理部100可以在超低温制冷机10的至少稳态运行中执行基于这种耗电力的膨胀机马达42的监控。与图5所示的实施方式同样地,处理部100可以从控制器(例如,压缩机控制器24)获取表示超低温制冷机10的当前的运行模式的信息或者也可以根据来自温度传感器52的测量温度信号S3来判定当前的运行模式。处理部100可以在当前的运行模式为稳态运行时根据消耗电力信号S5来监控膨胀机马达42。除此之外或者取而代之,处理部100也可以在当前的运行模式为冷却运行时根据消耗电力信号S5来监控膨胀机马达42。

[0129] 处理部100也可以根据表示膨胀机马达42的耗电力的消耗电力信号S5来监控膨胀机马达42,从而代替变频器90的消耗电力。此时,处理部100可以获取供给至膨胀机马达42的电流及电压,并根据这些电流及电压运算出膨胀机马达42的消耗电力。处理部100也可以根据从电流传感器50输入过来的马达电流信号S1来获取膨胀机马达42的电流。处理部100也可以根据从变频器90输入过来的输出电压信号S4来获取膨胀机马达42的电压。或者,可以设置用于测量供给至膨胀机马达42的电压的电压传感器,处理部100可以根据从电压传感器输入过来的马达电压信号来获取膨胀机马达42的电压。处理部100可以根据消耗电力信号S5将膨胀机马达42的消耗电力与所获取的消耗电力阈值Th2进行比较,并根据比较

结果生成监控结果数据D1。

[0130] 图10是表示另一实施方式所涉及的超低温制冷机10的监控方法的流程图。首先,如图10所示,在超低温制冷机10的运行中(例如,稳态运行中),获取变频器90(或膨胀机马达42)的消耗电力(S30)。并且,根据所获取的消耗电力来监控膨胀机马达42(S40)。

[0131] 在S40中,根据膨胀机马达42的动作条件(例如,输出频率信息S2、输出电压信号S4等)来获取消耗电力阈值Th2(S41)。将所获取的变频器90的消耗电力的值与消耗电力阈值Th2进行比较(S42)。若消耗电力值超过了消耗电力阈值Th2(S42的是),则比较部70判定为预测到了膨胀机马达42的异常动作(S43),并输出表示该内容的监控结果数据D1。若消耗电力值为消耗电力阈值Th2以下(S42的否),则比较部70判定为没有预测到膨胀机马达42的异常动作(S44),并输出表示该内容的监控结果数据D1。如此,本监控方法结束。

[0132] 另外,在预测到了膨胀机马达42的异常动作的情况下,超低温制冷机10的控制器(例如,压缩机控制器24)可以采取提前预防异常动作的对策,例如发出警告、降低膨胀机马达42的运行频率、停止超低温制冷机10的运行等。

[0133] 如此,根据实施方式,基于变频器90(或膨胀机马达42)的消耗电力来监控膨胀机马达42,因此能够预测或提前预防长期运行引起的膨胀机马达42的异常动作或故障。

[0134] 以上,根据实施例对本发明进行了说明。本领域技术人员应当可以理解,本发明并不只限于上述实施方式,可以进行各种设计变更,可以存在各种变形例,并且这样的变形例也在本发明的范围内。在一种实施方式中进行说明的各种特征也可以应用于另一实施方式中。通过组合而产生的新的实施方式兼具所组合的实施方式各自的效果。

[0135] 在上述实施方式中,为了根据膨胀机马达42的动作条件来获取电流阈值,处理部100具备运行频率/电流阈值表62、外部磁场/电流阈值表64及输入电压/电流阈值表66这三个的电流阈值表。然而,这三个表并不是必须的。例如,处理部100也可以仅具备运行频率/电流阈值表62。

[0136] 或者,处理部100也可以不具备运行频率/电流阈值表62。此时,处理部100可以具备外部磁场/电流阈值表64和/或输入电压/电流阈值表66,外部磁场/电流阈值表64(或输入电压/电流阈值表66)可以被预先设定为用于监控用的特定的运行频率。此时,处理部100可以根据输出频率信息S2来判定膨胀机马达42是否处于监控用的特定的运行频率下的运行中,并根据在该特定的运行频率下的运行中所得到的马达电流信号S1将膨胀机马达42的电流与电流阈值进行比较,从而监控膨胀机马达42。

[0137] 并且,处理部100可以构成为使变频器90以监控用的运行频率驱动膨胀机马达42的方式动作,并根据以监控用的运行频率驱动膨胀机马达42时的马达电流信号S1将膨胀机马达42的电流与电流阈值进行比较,从而监控膨胀机马达42。由此,在膨胀机马达42的电流与电流阈值的比较中,能够使用与监控用的运行频率相对应的固定的电流阈值。另外,在该情况下,还可以根据外部磁场等的马达动作条件来调整电流阈值。

[0138] 在一种实施方式中,超低温制冷机10可以为单级式的GM制冷机,或者也可以为具备用于使膨胀机14动作的膨胀机马达42的其他的形式的超低温制冷机。

[0139] 在一种实施方式中,处理部100也可以不构成超低温制冷机10的一部分,可以是搭载有超低温制冷机10的超低温系统(例如,超导机器或MRI系统)的一部分。

[0140] 以上,根据实施方式并使用具体的语句对本发明进行了说明,但是,实施方式仅表

示本发明的原理、应用的一个侧面,在不脱离技术方案所限定的本发明的思想的范围内,实施方式可以存在诸多变形例或配置的变更。

[0141] 产业上的可利用性

[0142] 本发明可以利用于超低温制冷机及超低温制冷机的监控方法的领域中。

[0143] 符号说明

[0144] 10-超低温制冷机,14-膨胀机,42-膨胀机马达,50-电流传感器,62-运行频率/电流阈值表,64-外部磁场/电流阈值表,90-变频器,100-处理部。

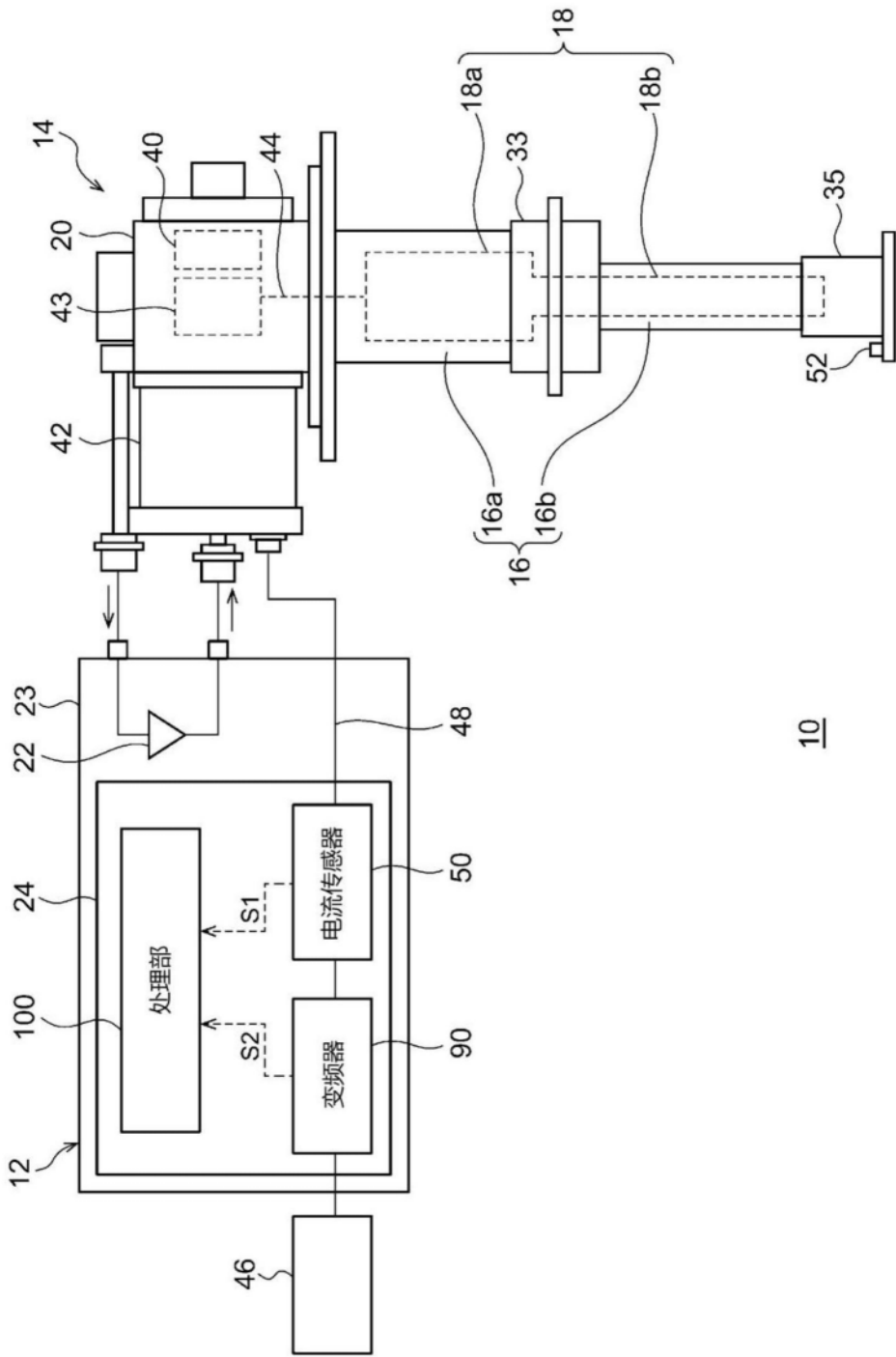


图1

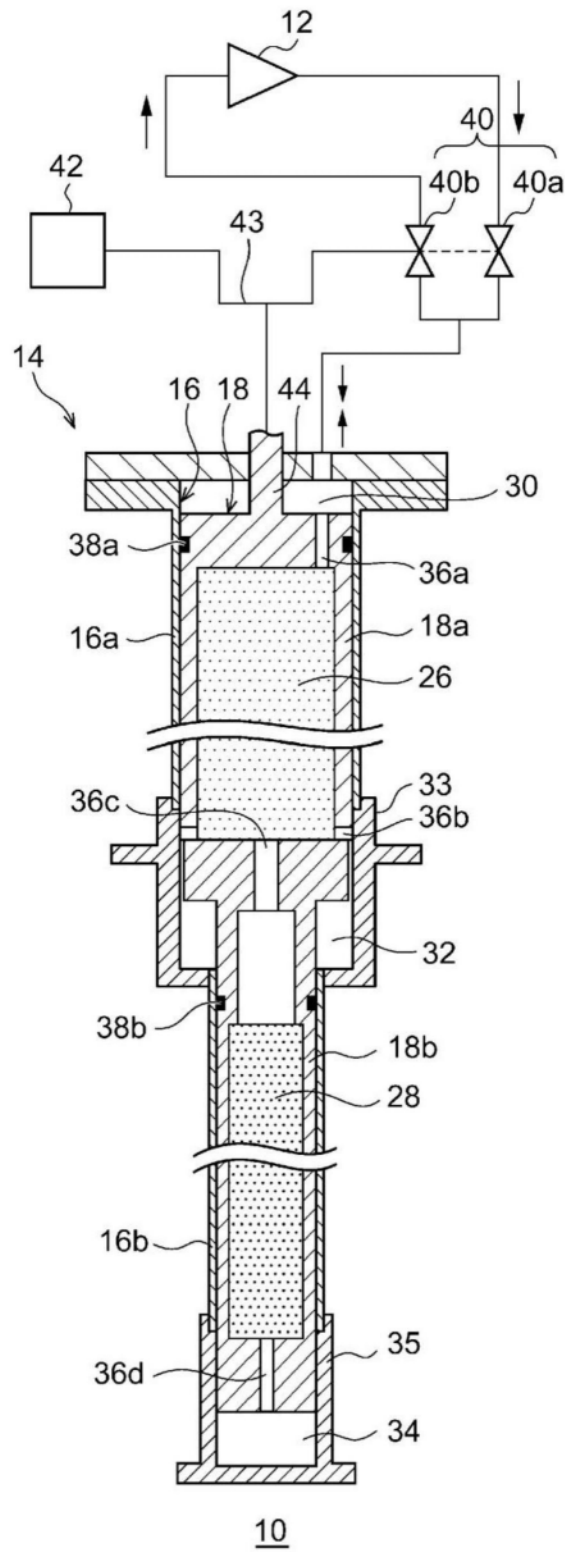


图2

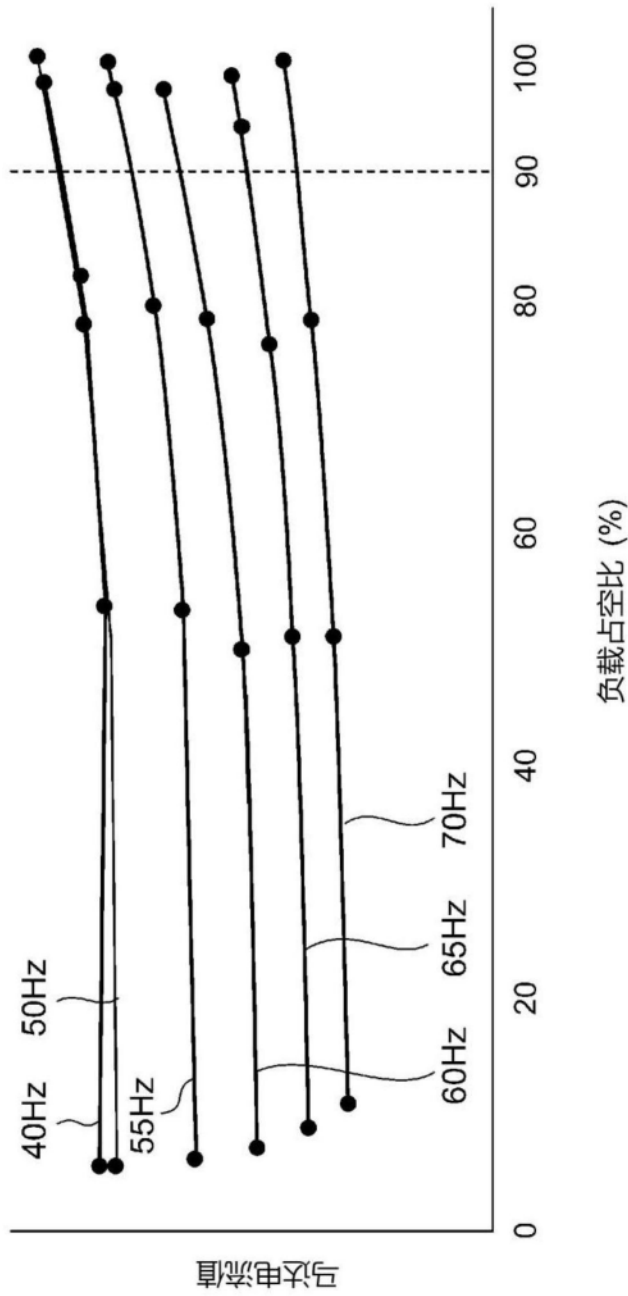
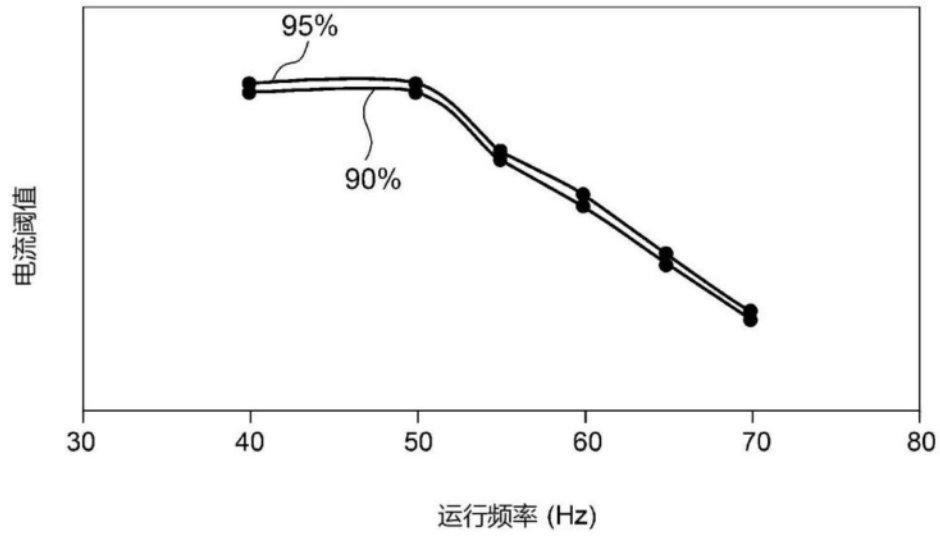


图3



62

图4

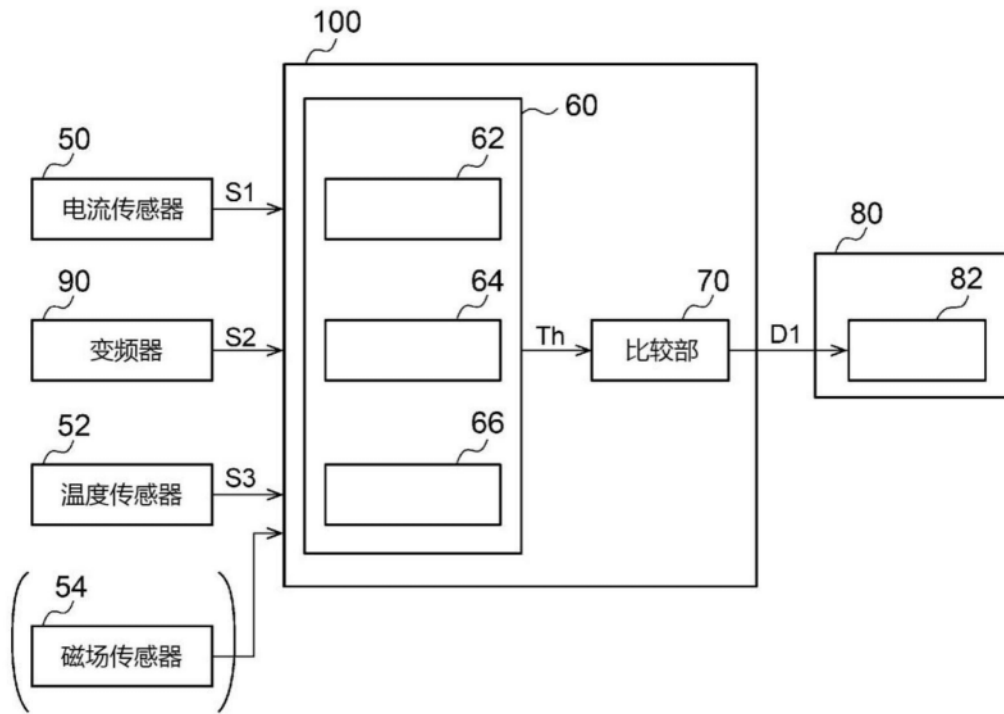


图5

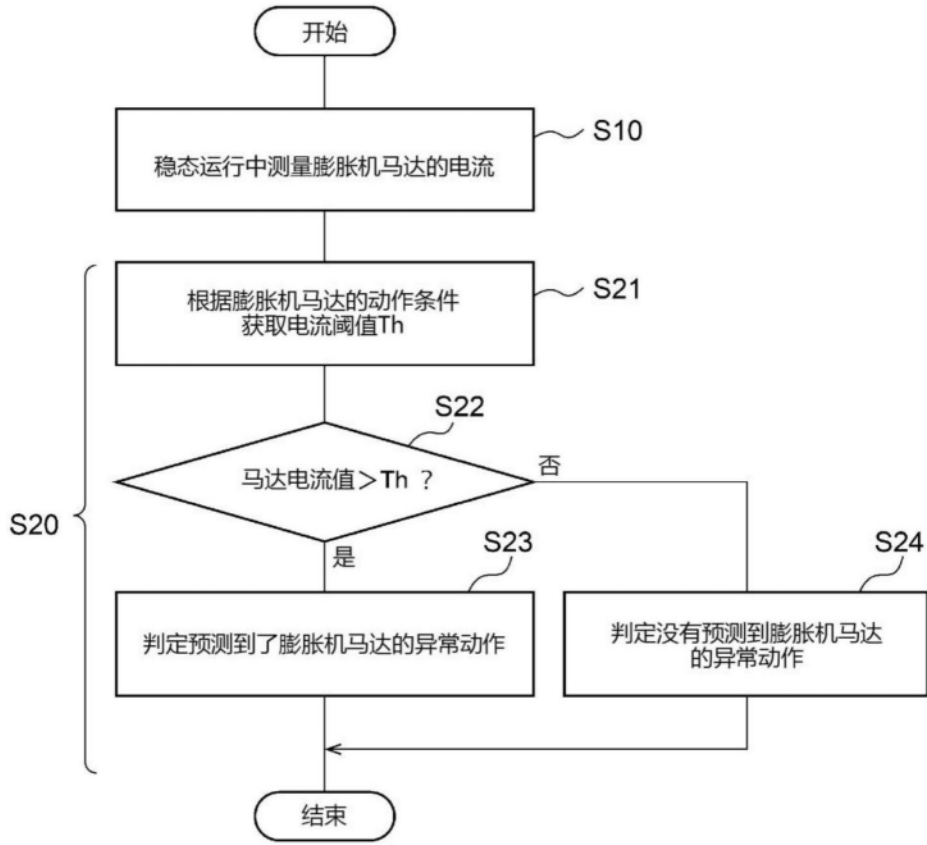


图6

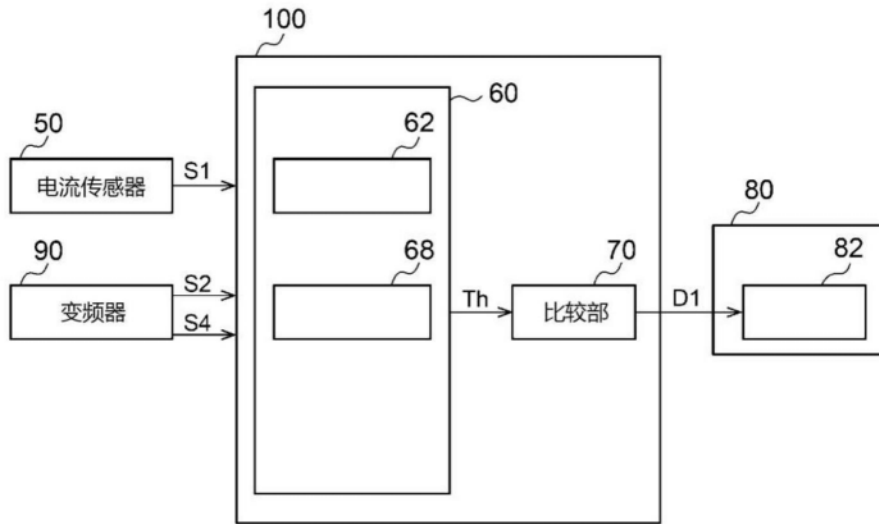


图7

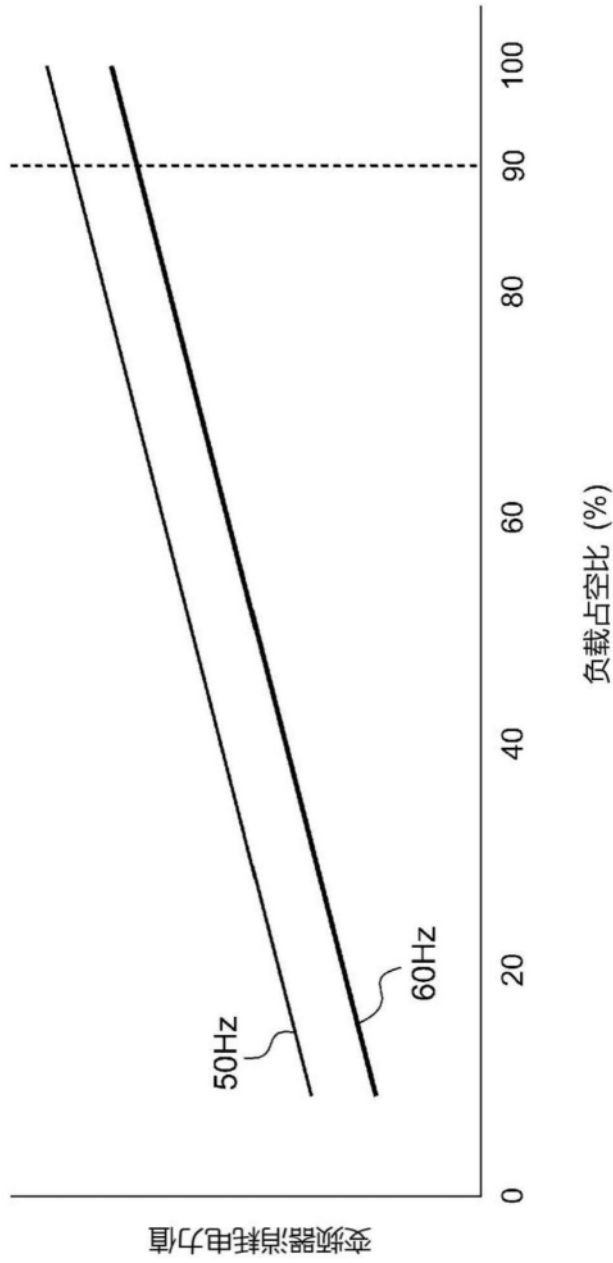


图8

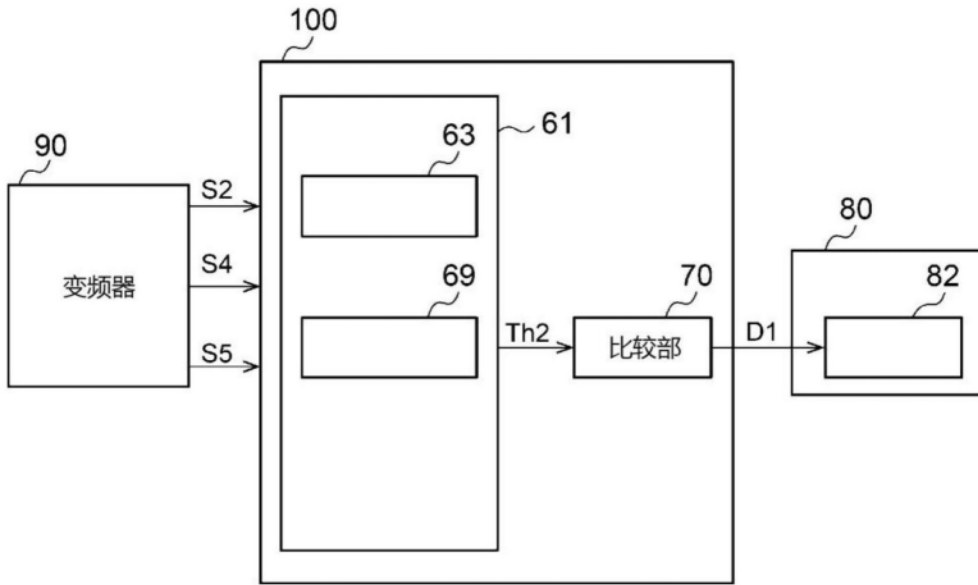


图9

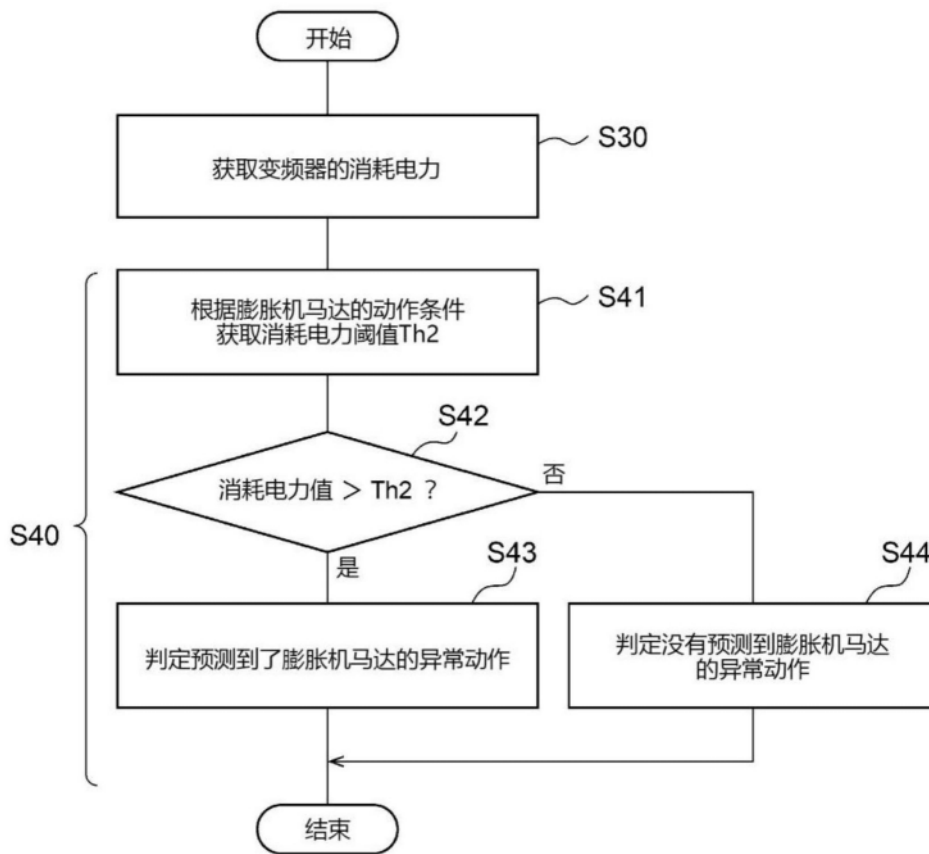


图10