

[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 200310123172.X

[45] 授权公告日 2007 年 7 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1325856C

[22] 申请日 2003.11.21

[21] 申请号 200310123172.X

[30] 优先权

[32] 2002.11.22 [33] US [31] 10/301,712

[73] 专利权人 普莱克斯技术有限公司

地址 美国康涅狄格州

[72] 发明人 A·阿查亚 B·阿曼

J·H·罗亚尔

D·P·博纳奎斯特

[56] 参考文献

US6374617B1 2002.4.23

JP8271069A 1996.10.18

CN1299039A 2001.6.13

JP9189455A 1997.7.22

US6425250B1 2002.7.30

CN2100585U 1992.4.1

审查员 李 红

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王 岳 张志醒

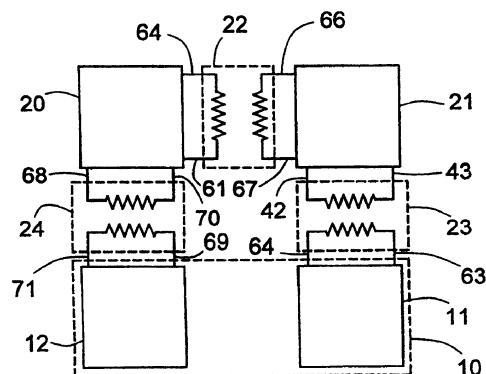
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

一种为高温超导提供致冷的方法

[57] 摘要

一种脉冲管致冷系统，其中在为高温超导体提供致冷前，脉冲管工作气体被冷却到规定的第一级温度，并通过回热器和脉冲管的操作而变为规定的第二级温度，该回热器和脉冲管通过冷热交换器进行流体连通。



1. 一种为高温超导提供致冷的方法，包括：

5 (A) 产生振荡脉冲管工作气体，并且通过与来自致冷系统的致冷流体间接进行热交换，将该振荡脉冲管工作气体冷却到 50 至 150K 范围中的第一级温度；

(B) 通过与冷回热器介质进行直接热交换，将该振荡脉冲管工作气体冷却到 4 至 70K 范围中的第二级温度，产生冷脉冲管气体；

(C) 在脉冲管中膨胀冷脉冲工作气体，为冷却回热器介质产生致冷；和

10 (D) 从冷脉冲管工作气体中为高温超导提供致冷，和

其中该致冷系统为另一个在比冷脉冲管工作气体所提供的温度更高的温度下的高温超导应用提供致冷。

2. 权利要求 1 的方法，其中该致冷流体是液态致冷剂。

15 3. 权利要求 1 的方法，其中冷脉冲管工作气体通过冷却提供到高温超导的高温超导介质为高温超导提供致冷，和其中高温超导介质是至少包括 3 摩尔百分比氦的流体。

4. 权利要求 1 的方法，其中振荡脉冲管工作气体通过间接传导热交换装置被冷却到第一级温度。

一种为高温超导提供致冷的方法

5 技术领域

本发明通常涉及一种可以用于高温超导应用的脉冲管致冷系统。

背景技术

超导现象是指某种金属、合金和化合物失去电阻，从而具有无限的导电性。直到最近，超导也只是出现在稍微高于绝对零度的极低温度下。维持超导体在如此底的温度下的成本非常昂贵，通常需要液态氮，所以就限制了这项技术的商业应用。

最近人们发现了一些材料在更高的温度下，例如 15—75K 的范围内具有超导性。虽然可以使用液态氮或非常低温的氮蒸汽来保持这些材料的超导温度，但是这类致冷方案仍然相当昂贵。不幸的是，以相对较低的成本提供低温致冷的液态氮，并不能为降到多数高温超导体的超导温度有效地提供致冷。

用高温超导材料制成的电气传输电缆具有显著的优势是，传送大量的电力而只有非常小的损耗。高温超导材料的性能通常提高了大致一个数量级，从使用液态氮所达到的 80K 左右的温度改进了大约 30 至 60K 的温度。

在产生致冷领域中最近显著的进步是脉冲管系统，其中使用振荡气体将脉冲能量转换为致冷。这种致冷可以被高温超导应用所使用。然而，使用已知的脉冲管系统，由此这种系统不具备在较低温度下出现的这种性能改进，为在更有效的高温超导温度下的使用产生致冷，在当前是相当昂贵的。

相应的，本发明的目的是提供一种改进的脉冲管致冷系统，它可以提供有助于得到较好的高温超导性能的致冷温度。

25 发明内容

根据对本公开内容的阅读，上述和其它目的对本领域的普通技术人员将会变得清楚，并且可以通过本发明得到，其中之一为：

一种为高温超导提供致冷的方法，包括：

(A) 产生振荡脉冲管工作气体，并且通过与来自致冷系统的致冷流体间接进行热交换，将该振荡脉冲管工作气体冷却到 50 至 150K 范围中的第一级温

度;

(B) 通过与冷 (cold) 回热器介质进行直接热交换, 将该振荡脉冲管工作气体冷却到 4 至 70K 范围中的第二级温度, 产生冷脉冲管气体;

(C) 在脉冲管中膨胀冷脉冲工作气体, 产生用于冷却回热器介质的致冷;

5 和

(D) 从冷脉冲管工作气体中为高温超导提供致冷, 和

其中该致冷系统为另一个在比冷脉冲管工作气体所提供的温度更高的温度下的高温超导应用提供致冷。

本发明的另一个方面的是:

10 为高温超导提供致冷的设备, 包括:

(A) 用于产生振荡脉冲管工作气体的脉冲发生器, 第一级热交换器, 用于将振荡脉冲管工作气体传送到第一级热交换器的装置, 和用于将致冷传送到第一级热交换器的装置;

(B) 回热器和用于将振荡脉冲管工作气体传送到回热器的装置;

15 (C) 与回热器流体连通的脉冲管, 所述流动交换包括第二级热交换器;
和

(D) 用于将高温超导介质提供到第二级热交换器的装置。

此处所使用的词语“脉冲”指的是能量, 它使得气体团以循环的方式顺序经过高压和低压水平, 也就是产生振荡。

20 此处所使用的词语“高温超导介质”指的是直接或间接地将致冷提供到高温超导材料的流体或其它热传递介质。

此处所使用的词语“回热器”指的是分布有多孔的质量或介质形式的热器件, 例如球、叠片网屏、穿孔金属板和类似的, 具有良好的热容量以通过与多孔分布的质量进行直接热传递, 冷却进来的热气体和热的返回冷气体。

25 此处所使用的词语“间接热交换”指的是流体在热交换关系中, 没有任何的物理接触或流体之间的相互混合。

此处所使用的词语“直接热交换”指的是通过冷却或加热实体的接触所进行的制冷传递。

附图说明

30 图 1 表示的是本发明的多级脉冲管致冷系统的一个实施例。

图 2 为本发明实施例的代表图, 其中从致冷系统中提供用于第一级热交换器的致冷流体, 以预冷却随后将为冷却高温超导系统提供致冷的脉冲管致冷器。

图 3 为本发明实施例的代表图, 其中从协助该脉冲管致冷系统提供致冷到高温超导系统的第一致冷系统中, 提供致冷器或第一级热交换器。该第一致冷器也为第二热交换器提供致冷, 该第二热交换器反过来为在高温下超导体提供致冷。

具体实施方式

将参照附图对本发明进行详细的描述。现在参照图 1, 多级脉冲管致冷系统 21 包括热回热器 32、冷回热器 33、脉冲管 34、第一级热交换器 22 和第二级热交换器 23。回热器包含有脉冲管工作气体, 它们可以是氦、氢、氖、氮、氦和氖的混合、氖和氮的混合、或氦和氢的混合。纯氦是优选的脉冲管工作气体。

脉冲发生器装置 30 施加一个脉冲、即压力到回热器 32 的热端, 因而产生振荡的脉冲管工作气体并启动该脉冲管序列的第一部分。优选地, 如图 1 所示, 由活塞提供脉冲, 该活塞挤压与回热器 32 流动连通的脉冲管气体的一容器。另一个施加脉冲到回热器的优选装置是使用将声能施加到回热器中的气体的热声学驱动器。施加脉冲的另一种方式是通过线性马达/压缩结构。还有一个施加脉冲的方法是通过扬声器装置。脉冲用于挤压脉冲管气体, 在回热器 32 的热端产生热压缩的脉冲管气体。该热脉冲管气体被冷却, 优选的通过与热交换器 31 中的热传递流体 40 进行间接的热交换, 在流 41 中产生加热热传导流体, 和冷却热压缩后的脉冲管气体。在实施本发明中用作热传导流体 40, 41 的流体实例包括水、空气、乙烯乙二醇和类似的。

回热器 32 和 33 包含回热器或热传递介质。实施本发明中合适的实例包括钢球、线网、高密度蜂窝结构、金属网、铅球、铜及其合金、稀土元素和过渡金属的复合体。

脉动的或振荡的脉冲管工作气体在热的回热器 32 中被冷却, 然后被冷却到范围从 50 至 150K 中的第一级温度。致冷器所提供的这个冷却可以是任何有效的装置, 如传导冷却。图 1 中所描述的本发明的实施例是一个优选的实施例, 其中振荡脉冲管工作气体通过第一级热交换器 22, 在那里它通过与致冷流体进

行间接热交换被冷却到范围从 50 至 150K 中的第一级温度。在图 1 中所描述的本发明的实施例中，所示的第一级热交换器 22 处于容纳有回热器 32 和 33 的外壳中。第一级热交换器 22 也可以位于外壳的外部。致冷流体以流 60 提供给第一级热交换器 22 并以流 61 从第一级热交换器 22 流回。致冷流体可以是液态致冷剂，例如液态氮或可以是其它致冷系统产生的包含致冷剂的流体，该致冷系统如混合气体致冷系统、磁致冷系统或使用涡轮膨胀工作流体的循环致冷。热交换器 22 也可以通过传导被冷却。

得到的振荡脉冲管工作气体然后通过冷的回热器 33，其中它通过与冷回热器介质进行直接热交换被冷却到范围从 4 至 70K 中的第二级温度，产生冷脉冲管工作气体。

脉冲管 34 和回热器 33 处于流体连通。流体连通包括冷或第二级热交换器 23。冷脉冲管工作气体按照线 42 到达第二级热交换器 23，并按照线 43 从第二级热交换器 23 中到达脉冲管 34 的冷端 62。在第二级热交换器 23 中，冷脉冲管工作气体通过与高温超导介质之间进行间接热交换被升温，从而为用作高温超导体的高温超导介质提供致冷。高温超导介质可以是将热量从冷却的超导系统传送到热交换器 23 的固体块 (solid block)。在图 1 中所描述的本发明的实施例中，该高温超导介质是按照线 64 到达第二级热交换器 23 并按照线 63 从第二级热交换器 23 流回处于冷却状态的、即致冷后的流体。这种情况下，高温超导介质包括氮、氖、氢、氦和一种或多种这种核素与氦、氧和四氟化碳中的一种或多种的混合物。特别的优选高温超导介质是至少包括 3 摩尔百分比氖的流体。

脉冲管工作气体从回热器 33 到达冷端 62 处的脉冲管 34。当脉冲管工作气体流入冷端 62 处的脉冲管 34 时，它压缩脉冲管中的气体并挤压一些气体通过热交换器 65 和管口 36 进入容器 37 中。当活塞移回到或处于压缩脉冲的低压点时，脉冲管工作气体膨胀并产生气压波，它流向脉冲 34 的热端 65，并压缩脉冲管中的气体，因而加热它。

冷却流体 44 传到热交换器 35，在这里它通过与脉冲管工作气体进行间接热交换而被升温或汽化，因此用作吸热沉来冷却脉冲管工作气体。得到升温或汽化的冷却流体按照流 45 从热交换器 35 流回。优选的冷却流体 44 是水、空气、乙烯乙二醇 (ethylene glycol) 和类似的。

与脉冲管 34 的热端 65 连接的是具有管口 36 的线 46, 它通过线 47 导向容器 37。脉冲管工作气体的压缩波与脉冲管的热端壁接触, 并继续回到脉冲管序列的第二部分。管口 36 和容器 37 用来维持压力和流体波的协调, 从而在脉冲管 34 的冷端 62 的膨胀和压缩循环中, 脉冲管产生净致冷。在本发明的实施中
5 可以使用的其它用于维持压力和流体波的协同的装置包括惯性管、管口、膨胀器、线性振荡器 (alternator)、伸缩 (bellows) 设置、和带有质量流抑制器的工作恢复线。在膨胀序列中, 脉冲管工作气体在脉冲管 34 的冷端 62 膨胀产生冷脉冲管工作气体。膨胀的气体反转它的方向使得它从脉冲管流向回热器 33。容器中相对较高压的气体通过阀 36 流到脉冲管 34 的热端。

10 从热交换器 23 形成的膨胀的脉冲管工作气体按照线 42 达到回热器 33, 在这里它与回热器中的热传递介质直接接触, 产生前述的冷热传递介质, 因此完成了脉冲管致冷序列的第二部分, 并使得回热器处在用于随后的脉冲管致冷序列的第一部分的状态。

图 2 和 3 以简化表示的形式描述了两个设置, 它可能使用了本发明的多级
15 脉冲管致冷系统与高温致冷系统结合在一起, 以为高温超导应用提供致冷。对于共同的构件, 图 2 和 3 中的标号与图 1 中相同。

现在此参照图 2, 较高水平的致冷系统 20, 例如混合气体致冷系统产生在热交换器 22 中用于第一级冷却的致冷流体 60、或通过传导方式冷却热交换器 22。在本实施例中, 脉冲管工作气体按照线 66 提供到第一级热交换器 22 中,
20 然后从热交换器 22 按照线 67 到达回热器。线 64 中的被致冷后的高温超导介质提供到高温超导体 11, 以维持超导温度通常处于从 4 至 70K 的范围中, 并且典型的处于从 30 至 50K 的范围中。

图 3 描述了与图 2 类似, 同时附加提供从高温致冷系统 20 到第二高温超导应用 12 的致冷, 该第二高温超导应用可能是与应用 11 分开的实体, 它也可能被集成到可接收二个温度水平致冷的单独超导设备 10 中。在图 3 中所示的
25 实施例, 从致冷系统 20 中的致冷流体按照线 68 到达热交换器 24, 在这里它被升温以给流体 69 提供致冷。升温后的致冷流体按照线 70 返回致冷系统 20, 被致冷的流体 71 到达高温超导应用 12, 其中它在比超导体 11 所预设的温度更高的温度, 典型的大约在 80K 时提供致冷。

30 尽管已经参照确定的优选实施例对本发明作出了详细的描述, 本领域的普

通技术人员会认识到，在本权利要求的精神和范围中，本发明具有其它的实施例。例如在末级（在附图 1 的实施例中为第二级）之前可以使用不止一个上游冷却步骤或级。

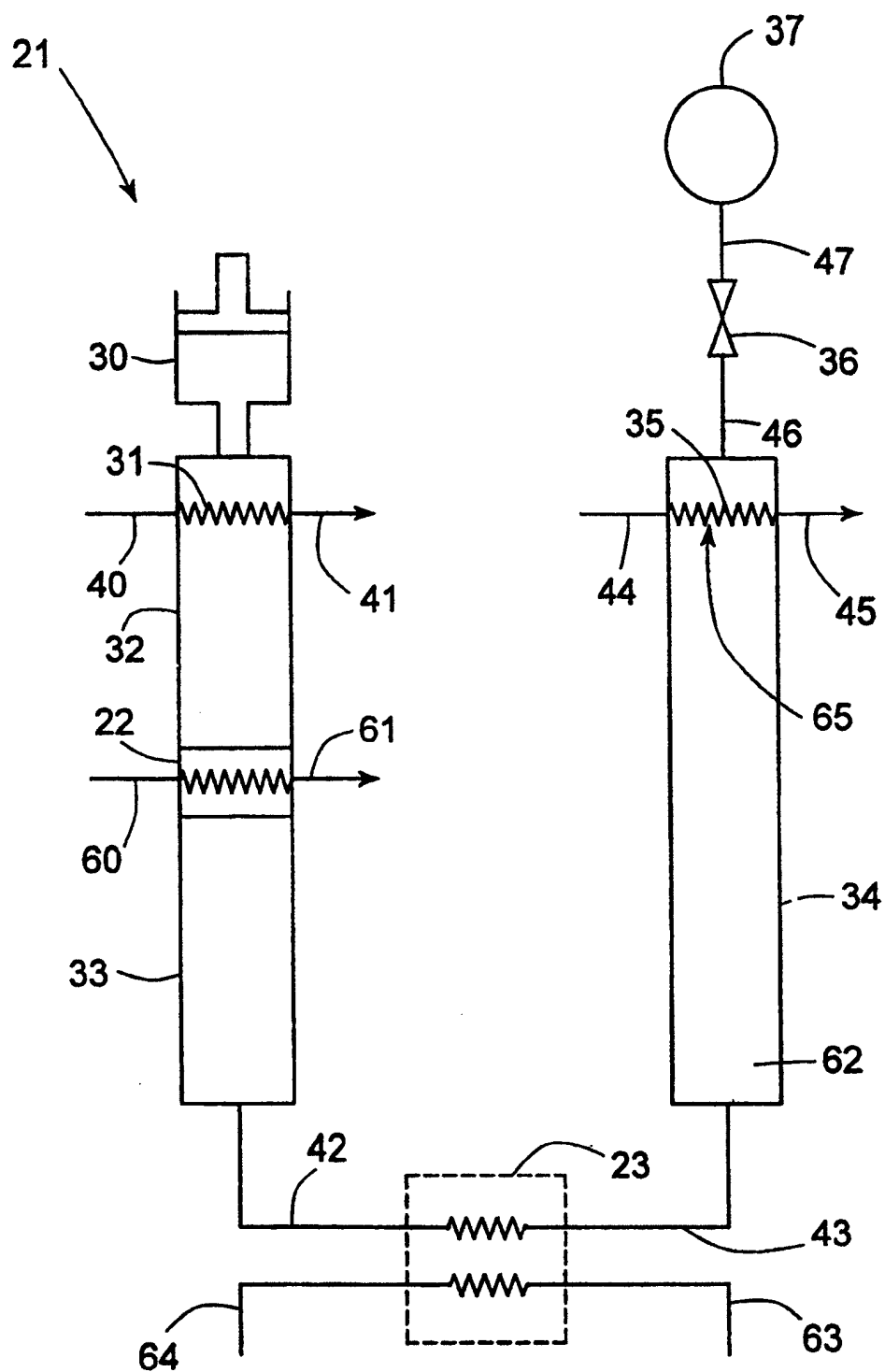


图 1

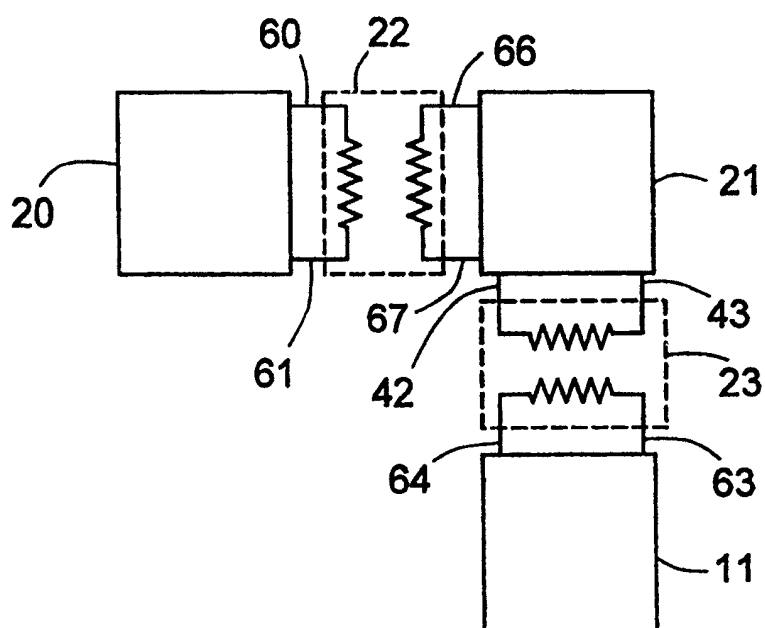


图 2

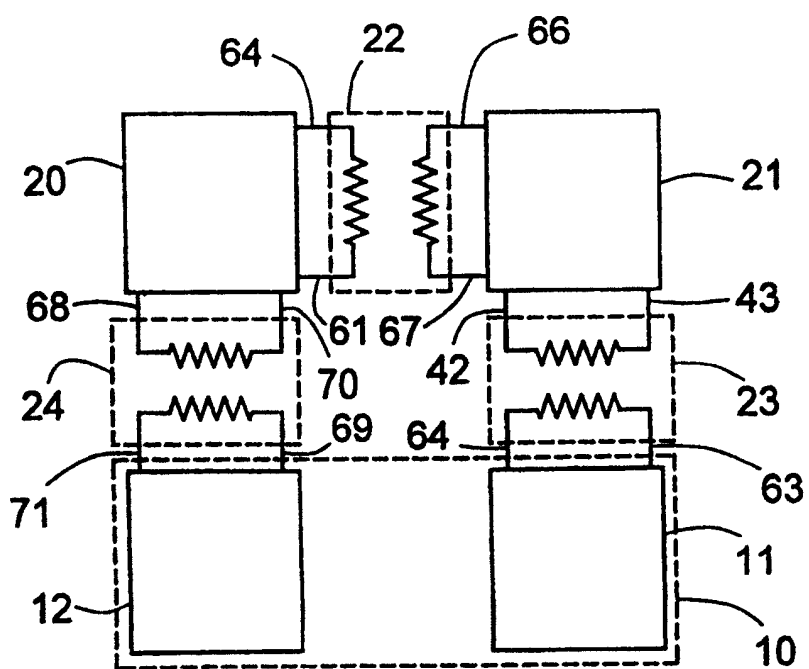


图 3