

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H02K 55/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02125114.2

[45] 授权公告日 2009年4月29日

[11] 授权公告号 CN 100483901C

[22] 申请日 2002.5.15 [21] 申请号 02125114.2

[30] 优先权

[32] 2001.5.15 [33] US [31] 09/854946

[73] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 E·T·拉斯卡里斯

J·P·亚历山大

[56] 参考文献

US5548168A 1996.8.20

US4184089 1980.1.15

US3991333 1976.11.9

审查员 顾晓娟

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 章社杲

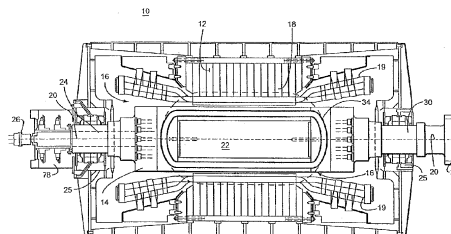
权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称

同步电机转子和在转子芯上支撑高温超导线圈绕组的方法

[57] 摘要

介绍一种用于同步电机的转子，其包括：一个转子芯、一个沿转子的至少一部分延伸的超导线圈绕组，所述线圈绕组带有邻近转子芯侧边的侧边部；至少一个穿过所述转子芯的通道管的拉杆；至少一个在拉杆端部之间延伸并且紧靠线圈绕组的侧边的拉力螺栓；以及连接到拉力螺栓以及线圈绕组上的通道外壳。



- 1、一个用于在同步电机中的转子，包括：
 - 一个转子芯；
 - 一个沿转子芯的至少一部分延伸的超导线圈绕组，所述线圈绕组带有一个邻近转子芯侧边的侧边部；
 - 至少一个延伸穿过所述转子芯内的通道管的拉杆；
 - 至少一个插入在拉杆端部的拉力螺栓，以及
 - 一个连接到拉力螺栓上并且连接到线圈绕组的侧边部上的外壳。
- 2、如权利要求1所述的转子，其特征在于所述外壳包括位于所述侧边部的相对表面上的一对侧板。
- 3、如权利要求1所述的转子，其特征在于所述的外壳、拉力螺栓以及拉杆通过来自所述的线圈绕组的传导进行冷却。
- 4、如权利要求1所述的转子，其特征在于拉杆内的螺栓深度是可调的。
- 5、如权利要求1所述的转子，其特征在于拉力螺栓包括一个具有邻接线圈绕组的平表面的头部。
- 6、如权利要求1所述的转子，还进一步包括一个插入在拉杆的相反端部并且紧靠线圈绕组的第二侧边部的第二拉力螺栓。
- 7、如权利要求1所述的转子，其特征在于外壳包括承托线圈绕组侧边部的侧板，以及位于侧板之间并且紧靠线圈绕组侧边部的外表面的楔。
- 8、如权利要求1所述的转子，其特征在于拉力螺栓带有一个紧靠线圈绕组的平头部。
- 9、如权利要求1所述的转子，其特征在于所述的外壳由包括铝及钛合金组成的金属材料中所选择的材料制成。
- 10、如权利要求1所述的转子，其特征在于所述的拉杆由非磁性金属合金制成。
- 11、如权利要求1所述的转子，其特征在于所述的拉杆由铬镍铁合金制成。
- 12、一种在同步电机的转子芯上支撑超导线圈绕组的方法，包括以下步骤：
 - a.将拉杆穿过所述转子芯上的通道；
 - b.将至少一个拉力螺栓插入所述拉杆的端部；

c.围绕线圈绕组的侧边部中的一个安装至少一个外壳;

d.将线圈绕组以及外壳围绕转子芯定位,从而使拉杆以及拉力螺栓横跨在带有外壳的线圈绕组的侧边部之间,以及

e.将拉力螺栓固定在一个外壳上。

13、如权利要求 12 所述的方法,其中绕组的侧边部包括在转子芯的相对侧面上的第一和第二侧边部,所述外壳包括分别绕线圈绕组的第一和第二侧边部的第一和第二外壳,该方法还包括向拉杆的相对端部插入第二拉力螺栓并且将第二拉力螺栓固定到位于线圈绕组的第二侧边部上的第二外壳上。

14、如权利要求 13 所述的方法,其中所述的拉杆穿过转子芯的转动轴线。

15、如权利要求 12 所述的方法,还包括通过一个螺纹插口将拉力螺栓固定到外壳中去。

16、如权利要求 12 所述的方法,还包括对所述线圈绕组、所述外壳、拉杆以及拉力螺栓进行低温冷却。

17、如权利要求 12 所述的方法,其特征在于一系列的拉杆以及螺栓被插入到转子芯上的一系列通道并且被固定在线圈绕组上。

18、如权利要求 12 所述的方法,还包括改变拉力螺栓在拉杆中的深度来调整拉杆和拉力螺栓的组的长度的步骤。

19、一种用于同步电机的转子,包括:

一个带有至少一个导管的转子芯;

一个处在与转子的纵向轴线平行的平面内的跑道形超导线圈绕组;

至少一个在转子芯的所述至少一个导管中的拉杆;

至少一个在至少一个拉杆的每一端的拉力螺栓,以及

将线圈绕组连接到每一个拉力螺栓上的外壳。

20、如权利要求 19 所述的转子,所述至少一个导管具有多个处在由跑道形超导线圈绕组所确定的平面内的与转子芯的纵向轴线正交的导管。

21、如权利要求 19 所述的转子,其特征在于拉力螺栓带有一个紧靠线圈绕组的端表面。

22、如权利要求 19 所述的转子,其特征在于外壳包括一对位于线圈绕组相对表面上的侧板,连接侧板的楔,以及和侧板连接到一起并且固定到拉力螺栓上的螺纹插口。

23、如权利要求 19 所述的转子,还包括位于转子芯和拉杆之间的绝缘管套。

同步电机转子和在转子芯上 支撑高温超导线圈绕组的方法

技术领域

本发明总体上涉及一种应用于同步旋转电机的超导线圈。具体地说，本发明涉及一种同步电机的转子中的超导励磁线圈的支撑结构。

背景技术

带有励磁线圈的同步旋转电机包括，但不仅仅限于此，转动发电机、回转马达以及线性电动机。这些机械通常包括一对电磁耦合的定子和转子。转子包括一个多极转子芯和一个或多个安装在转子芯上的线圈绕组。转子芯还可以包括一个诸如铁芯转子这样的可透磁材料。

同步电机的转子中通常使用常规的铜线圈。然而，铜线圈的电阻抗（尽管常规测量结果并不高）会产生转子的真正热量并且降低机械的功效。近来，用于转子的超导（SC）线圈绕组已经产生。SC 线圈没有阻抗从而成为高效的转子线圈绕组。

铁芯转子在 2 特斯拉的气隙磁场强度下达到饱和。已知的超导转子采用在转子中不带有铁的气芯设计，以便达到 3 特斯拉或者更高的气隙磁场强度。这些较高的气隙磁场强度提高了发电机的功率密度，并且显著减少了机械的重量和大小。气芯超导转子需要大量的超导线。而大量的超导线的需求增加了所需的线圈、线圈支撑的复杂程度、以及转子和 SC 线圈的成本。

高温超导励磁线圈由易碎的超导材料构成，其必须被冷却以保持在一个例如 27° K 临界温度或低于这个温度以便保持其超导性。SC 线圈也可以由高温超导材料构成，例如一种 BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$) 基导体。

超导线圈被液体氦冷却。在穿过转子的线圈之后，热的、使用过的氦以室温下的气态氦返回。使用液态氦作为低温冷却需要持续的对返回的室温气态氦的再液化，这样的再液化产生了明显的可靠性问题以及需要大量的辅助能源。

现有的 SC 线圈冷却技术包括通过一个固体低温冷却机内部的传导通路来

冷却一个浸渍环氧树脂的 SC 线圈。另一种方案是，转子中的冷却管道可以将液体和/或气体冷却剂输送给浸润在液体和/或固体冷却剂中的多孔 SC 线圈。然而，浸润冷却要求整个线圈以及转子都在一个低温环境下。因此，由于铁在低温条件下的脆性而在整个转子磁路当中都不能使用铁。

所需要的是一种用于电机的超导线圈集合，该集合没有诸如现有超导转子这样的气芯以及液冷超导励磁线圈集合的缺点。

除此之外，高温超导 (HTS) 线圈对高弯曲以及拉伸应变的退化非常敏感。这些线圈必须承受基本的在线圈绕组引起应力和应变的离心力。在几年内，电机正常操作会包括数以千计的启动以及关闭操作，这些操作会引起转子的低周期疲劳。此外，HTS 转子芯应该能够在室温条件下的转子平衡过程中承受 25% 的超速运转，并且在发电操作过程中不能承受低温下的偶然超速运转。这些超速条件实质上增加了正常运转条件下线圈上的离心力。

作为电机的 HTS 转子励磁线圈的 SC 线圈在冷却以及正常运行条件下经受拉伸和压缩。它们还必须承受离心负载，转矩转化、以及暂时故障条件。为了抵抗外力、应力、应变以及交变载荷，SC 线圈必须通过一个线圈支撑系统被恰当地固定在转子上。这些支撑系统将 SC 线圈固定在 HTS 转子上，并且抵御由于转子的转动而产生的巨大离心力。此外，线圈支撑系统保护线圈，并确保线圈不会过早破裂、疲劳以及其它损坏。

发展用于 HTS 线圈的支撑系统以便使 SC 线圈适合 HTS 转子成为一个很困难的挑战。现有的 HTS 转子的线圈支撑系统参见美国专利第 5548168；5532663；5672921；5777420；6169353 以及 6066906 号。然而，这些线圈支撑系统都存在不同的问题，比如过于昂贵、复杂以及需要过多的组件等等。长久以来一直都存在着对带有用于 SC 线圈的线圈支撑系统的 HTS 转子的需要。这样的需求还存在于需要一个低成本以及带有易于制造的组件的线圈支撑系统。

发明内容

已经研制出一种用于电机两极转子的跑道形高温超导线圈 (HTS) 的线圈支撑系统。该线圈支撑系统防止了在转子运行过程中对线圈的损坏，支撑线圈以承受离心力以及其他外力，并提供一个线圈保护壳体。线圈支撑系统相对于转子支撑线圈绕组。在转子处于室温的同时，HTS 线圈以及线圈支撑系统保持低温。

该线圈支撑系统包括一系列横跨在跑道形线圈的相对边上的线圈支撑组件。每一个线圈支撑组件包括一个拉杆、一对拉力螺栓以及一对通道外壳。拉杆通过例如孔这样的位于转子芯内的管道横跨在线圈的相对边之间。拉力螺栓插入拉杆的两端。拉力螺栓提供对线圈支撑组件的长度校正，用于补偿线圈几何形状的变化。每一个螺栓都固定到通道外壳的一个上面。每一个通道外壳都围绕 HTS 线圈被装配。每一个线圈支撑组件针对转子芯支撑线圈绕组。一系列的线圈支撑部件为线圈绕组提供一个固体和保护性的支撑。

HTS 转子可以应用于专门用来包含 SC 线圈的同步电机。或者是，HTS 转子可以替代一个诸如常规发电机这样的已有同步电机的铜线圈。这里所说的转子以及其 SC 线圈是参照发电机的，但是 HTS 线圈转子也可以应用于其它类型的同步电机。

线圈支撑系统对于将线圈支撑系统以及线圈和转子成为一个整体非常有用。另外，线圈支撑系统简化了在最终转子组装之前的线圈支撑系统、线圈以及转子芯的预组装。预组装减少了线圈和转子的装配时间，提高了线圈支撑的质量，以及降低了线圈部件的复杂性。

在第一个最佳实施例中，本发明涉及一个用于同步电机的转子，其包括：一个转子芯；一个沿着转子至少一部分延伸的超导线圈，所述的线圈带有邻接转子芯侧面的侧边部；至少一根穿过所述转子芯的管道的拉杆；至少一个拉力螺栓插入到拉杆的一端；以及一个附加到拉力螺栓上并承托线圈侧边部的外壳。

在另外一个最佳实施例中，本发明涉及一种在同步电机的转子芯上支撑超导线圈的方法，包括下面这些步骤：将拉杆穿过所述转子芯的管道；将至少一个拉力螺栓插入到拉杆的一端；将线圈绕组围绕转子芯定位，以使拉杆以及拉力螺栓横跨在线圈绕组的两侧；将至少一个通道外壳固定到线圈绕组的侧面；并且将螺栓固定到通道外壳上。

本发明的另一个实施例涉及一种用于同步电机的转子，其包括：一个带有与转子纵向轴线正交的导管的转子芯；位于与转子的纵向轴线平行的跑道形平面内的跑道形超导（SC）线圈；转子芯导管内部的拉杆；位于所述拉杆端部的拉力螺栓；以及将线圈绕组相对的侧面与拉力螺栓连接的外壳。

附图说明

下面这些附图和下文中的文字结合以说明本发明的实施例。

图 1 是带有一个超导转子与定子的同步电机的示意侧视图。

图 2 是一个示意性的跑道形超导线圈绕组的透视图。

图 3 是高温超导 (HTS) 转子的转子芯、线圈绕组以及线圈支撑系统的部分剖视图。

图 4 是高温超导 (HTS) 转子的转子芯、线圈绕组以及线圈支撑系统的透视图。

具体实施方式

图 1 显示了一个示意性的带有定子 12 以及转子 14 的同步电机 10。转子包括位于定子的圆柱形转子真空腔 16 内部的线圈绕组。转子被装配到定子的转子真空腔内。当转子在定子内部转动时, 通过转子以及转子线圈运动/转动穿过定子内部而产生磁场 (由图中的点划线表示) 18 并且在定子线圈 19 的线匝内产生电流。该电流由发电机作为电能输出。

转子 14 通常带有一根纵向轴 20 线以及一个固体转子芯 22。固态芯 22 带有高磁渗透性, 通常是由例如铁的铁磁性材料制成。在低能密度超导机中, 转子的铁芯用来降低磁通势 (MMF), 因此, 使线圈绕组所需要的超导 (SC) 线数量最小化。例如, 在大约 2 特斯拉的气隙磁场强度下, 固态铁转子线圈可以磁饱和。

转子 14 支撑至少一个纵向延伸、跑道形状的高温超导 (HTS) 线圈绕组 34 (参见图 2)。HTS 线圈绕组也可以是鞍型或者是其它适合特定 HTS 转子设计要求的形状。除了适用于被安装到固态转子芯上的跑道形 SC 线圈, 线圈支撑系统可以适用于其它线圈结构。

转子包括一个集电极端轴 24 以及一个驱动端轴 30, 其同时托住转子芯 22 并且被轴承 25 支撑。集电极端轴包括电连接到转动 SC 线圈上的集电极环 78。集电极端轴 24 还具有一个连接到在转子内用来冷却 SC 线圈的冷却液体源上的冷却转换联轴器 26。冷却转换联轴器 26 包括一个连接到冷却液体源上的固定部分以及向 HTS 线圈提供冷却液体的转动部分。驱动端轴 30 可以通过驱动联轴器 32 由动力涡轮机来驱动。

图 2 示意性显示了 HTS 跑道形线圈绕组 34。转子的 SC 线圈绕组 34 包括一个高温超导 (SC) 线圈 36。每一个 SC 线圈都包括一个高温超导体, 例如分层缠绕在浸渍固态环氧树脂线圈合成物上的 BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$) 导体。

例如，一系列分层、相互固定并缠绕在一个浸渍固态环氧树脂的线圈上的 BSCCO 2223 线。

SC 线是脆弱并且易于毁坏的。SC 线圈通常是分层缠绕的浸渍固态环氧的 SC 带。SC 带被缠绕在精密线圈上以便获得闭合尺寸公差。带被缠到螺线管上以便形成跑道形 SC 线圈 36。

跑道形线圈的尺寸取决于转子芯的尺寸。通常，每一个跑道形 SC 线圈都环绕转子芯的两个磁极，并且平行于转子轴线。线圈绕组持续环绕跑道。SC 线圈在转子芯周围以及芯的磁极之间形成一个无电阻电流通道。线圈带有一个导电的将线圈连接到集电极 78 上的电触点 114。

用于低温冷却液体通过的液体通道 38 被包括在线圈绕组 34 中。这些通道可以沿 SC 线圈 36 的外部周围延伸。在 SC 线圈所需要的保持超导条件，包括在线圈中没有电阻的冷却液体保持例如 27° K 这样的低温。冷却通道在转子芯的端部带有一个输入与输出液体口 112。这些液体（气体）口 112 将 SC 线圈上的冷却通道 38 与冷却转换联轴器 26 连接在一起。

每一个 HTS 跑道形线圈绕组 34 都带有一对与转子轴线 20 平行的直边部 40、以及一对与转子轴线垂直的端部 54。线圈边部承受最大的离心力。因此，边部由抵抗施加在线圈上的离心力的线圈支撑系统来支撑。

图 3 显示了转子芯 22 以及用于高温超导线圈绕组的线圈支撑系统的部分剖视图。线圈支撑系统包括一系列穿过转子芯并位于 HTS 线圈绕组相对边之间的线圈支撑组件。每一个线圈支撑组件包括一个延伸穿过转子芯的拉杆 42、插入到杆端的拉力螺栓 43、以及固定在螺栓上并且承托线圈绕组的通道线圈外壳 44。线圈支撑系统提供了在转子内固定线圈绕组的一个结构框架。

HTS 线圈绕组 34 的最主要荷载来自于转子旋转过程中的离心加速度。线圈支撑组件的每一个都是针对线圈的离心载荷来为在负载下的线圈绕组提供有效的结构支撑。为了支撑线圈的边部，拉杆 42 以及螺栓 43（拉杆部件）的每一个部件穿过线圈，并且连接到通道线圈外壳 44 上。外壳抓住线圈的相对边部。拉杆 42 延伸穿过转子芯上的一系列导管 46。这些杆沿着与转子芯的轴线垂直的方向排列。

通道线圈外壳 44 为线圈绕组 34 提供针对离心力以及切线扭力的支撑。离心力来自于转子的转动。切线力可能来自于转子的加速和减速以及扭矩传输。

由于线圈绕组的长边 40 被通道外壳 44 以及拉力螺栓的端部 86 所包围，所以线圈绕组在转子内部被完全支撑。

导管 46 通常是在转子芯内的带有直轴线的圆柱状通道。导管的直径基本上是恒定的。然而，导管的端部 88 可能为了接纳绝缘管 52 而其直径变大。该绝缘管 52 在导管内部和杆 42 对齐并且在转子芯以及杆之间提供热绝缘。该绝缘管带有一个和转子导管 46 的宽直径端 88 啮合的较低外环 123。绝缘管 52 的圆柱状边壁 121 从外环 123 向上延伸，并且不与导管的壁接触。管的上端和一个将管连接到拉杆 42 上的止动螺母啮合。因此，绝缘管以及止动螺母为转子芯的导管 46 内的拉杆提供了一个非热传输装置。

导管 46 的数量和在转子芯上的位置取决于 HTS 线圈的位置以及需要支撑线圈的边部的线圈外壳的数量。导管 46 的轴线通常位于由跑道形线圈 34 所确定的平面内。另外，导管的轴线与线圈的边部垂直。还有，在这里所示的实施例中，导管与转子轴线垂直相交。导管的数量和导管的位置取决于 HTS 线圈的位置以及需要支撑线圈的边部的线圈外壳的数量。

通常有两类用于超导线圈的支撑：(i) “暖” 支撑 (ii) “冷” 支撑。在暖支撑中，支撑结构与冷 SC 线圈热绝缘。当暖支撑的时候，超导 (SC) 线圈的大多数机械负载由横跨在冷线圈以及暖支撑元件之间的结构元件承受。

在冷支撑系统，支撑系统位于或是在 SC 线圈的低温下。在冷支撑时，SC 线圈的大多数机械负载通过位于或接近低温的线圈支撑结构部件来承担。

这里所说的示意性线圈支撑系统是冷支撑系统，其拉杆 42、螺栓 43 以及相关的通道外壳 44 都保持在或者是接近低温。由于线圈支撑部件是冷的，例如，通过穿过转子芯的非接触性通道，这些元件和转子芯以及转子的其它“热”构件热绝缘。

HTS 线圈绕组以及结构支撑部件均处于冷却温度下。与之相反，转子芯处在一个环境“热”温度。线圈支撑是允许热量从转子芯传输到 HTS 线圈的潜在热源。在运行过程中转子芯会变热。由于线圈绕组将被保持在超冷条件下，避免从芯向线圈进行的热传导。

线圈支撑系统与转子芯是热绝缘的。例如，拉杆与螺栓并不直接接触转子。这种非接触避免了从转子向拉杆以及螺栓的热量传导。除此之外，线圈支撑系统结构的质量被最小化以便降低通过支撑部件从转子芯向线圈绕组进行的热传

导。

每一个拉杆 42 都是一个沿杆的纵向方向连续的轴并且位于跑道形线圈所处的平面内。拉杆通常由高强度的诸如钛、铝或者是铬镍铁合金的非磁性合金制成。拉杆在长度方向上的连续性为向转子提供动力补偿的线圈提供了侧向刚度。另外，拉杆 42 的侧向刚度允许线圈支撑与线圈结合在一起，这样一来就可以在转子最终组装之前，使线圈被安装到位于转子芯上的线圈支撑上。

拉力螺栓 43 旋入位于拉杆端部的螺孔 120 中。螺栓旋入拉杆的深度是可以调整的。拉杆以及螺栓部件（该部件横跨在线圈的两边上）的总长度能够通过将螺栓中的一个或两个旋入或是旋出拉杆上的孔来进行调节。这种在拉杆和螺栓部件长度上的调整非常有益于将该部件装配在线圈绕组的侧边之间。拉杆端部的螺孔深度足够满足拉杆以及螺栓部件的长度调整的要求。

螺栓头 122 包括一个带有平外表面 86 的法兰。该螺栓的平头 86 靠在线圈绕组 34 的一个内表面上，从而，支撑加载在线圈绕组上的与拉杆平行的负载。

螺栓头的平表面 86 支撑着线圈绕组侧面的一个内表面。线圈绕组侧面 40 的另外三个面由通道外壳 44 支撑。每一个线圈通道外壳都设置在线圈的周围并且与螺栓头形成一个线圈外壳。该外壳针对拉力以及离心力负载对线圈绕组提供支撑。该外壳也允许线圈绕组在纵向上拉伸或是压缩。

每一个通道外壳 44 都带有一对侧板 124、一个楔 126 以及一个螺纹插入套 128。侧板承托线圈的相对表面。每一个侧板的内表面都有一个用于接受所述楔的狭槽 130 以及一个用来接受线圈绕组的侧面的“L”型表面 132。每一个侧板的内表面还带有一个包括 L-型表面 132 的凸缘 135 的螺纹法兰 134，用于和线圈绕组的角部啮合。法兰的螺纹部分和位于相对侧板 124 的法兰部分 134 之间的螺纹插入套 128 啮合。插入套带有一个用来接受拉力螺栓 43 的缘的小孔 137。一个止动螺母 138 将插入套 128 牢固地固定在螺栓头 43 上。

楔 126 嵌入到每一个侧板的狭槽 130 中并且横跨在侧板之间。所述楔紧挨着线圈的一个外表面同时还有一个用于接收线圈外表面上的冷却通道 38 的槽 136。止动螺丝 140 将侧板固定到楔上。侧板由楔承托并且夹住固定到螺栓头上的螺纹插入套。通道外壳可以由在冷却温度下具有延展性的轻、高强度材料制成。通常的用于通道外壳的材料是铝以及钛合金。为了较低重量，通道外壳的形状已经被优化。

如图4所示,一系列的通道线圈外壳44(以及相关的拉力螺栓43和杆44)可以沿着线圈绕组的边40排列。这些通道外壳一起将加载在线圈上的诸如离心力这样的力分散到线圈的整个侧边40上。通道外壳44防止了线圈侧边部40由于离心力而产生的过渡弯曲或挠曲。

这些通道外壳44有效地保持线圈以不受离心力的影响。尽管所示的通道外壳彼此间非常靠近,实际上外壳只需要靠近到足够防止由在离心加载、扭矩传递、以及瞬时故障条件下所引起的线圈破裂就可以了。

线圈支撑并不限制线圈在正常的蒸汽涡轮启动/停止操作中所引起的长度方向的膨胀或收缩。具体地说,热膨胀主要沿着边部的长度方向。这样一来,线圈的边部可以相对于通道外壳以及拉杆稍微纵向滑动。

拉杆42、螺栓43以及通道外壳44的线圈支撑系统在其被安装于转子芯22上时就能够被安装到HTS线圈绕组34上。拉杆以及通道外壳为支撑线圈绕组以及相对于转子芯所在的位置保持线圈绕组的长边提供了足够的刚度。线圈的端部可以由转子芯22轴端的对开夹58所支撑(不接触)。

铁转子芯22通常具有适于在定子12的转子腔16内部转动的圆柱形外形。为了接收线圈绕组,转子芯带有一个凹面48,其可以是平面或三角形区域或狭槽。这些表面48形成于圆柱形芯的弯曲表面并且延伸穿过转子芯的长度方向。线圈绕组34邻近凹面被安装于转子上。线圈通常沿着凹面区域的外表面纵向延伸并且环绕转子芯的端部。转子芯的凹面区域48接收线圈绕组。凹面区域的形状与线圈绕组的形状一致。例如,如果线圈绕组是鞍形或是其它形状,转子芯的凹面也被设置成可以接受绕组的外形的形状。

凹面48接收线圈绕组以便使线圈绕组的外表面延伸至大体上由转子转动所形成的外壳形状。在其转动时,转子芯的外弯曲面50形成了一个圆柱形外壳形状。该转子的转动外壳形状具有大体上与定子的真孔转子腔16(参见图1)相同的直径。

由于转子不需要强制冷却,所以位于转子外壳形状与定子腔16之间由仅仅冷却定子所要求的强制冷却气流所需要的相对较小的空隙是一个相对小的间隙。理想地将位于转子和定子间的间隙最小化将非常有利于提高转子线圈绕组以及定子绕组之间的导电耦合。况且,转子线圈绕组最好这样定位以使得其延伸到由转子所形成的外壳形状中,这样一来,其也仅仅由位于转子和定子之间

的间隙所分隔开。

在每一个拉杆的端部，还可以有一个将线圈支撑系统固定到热转子上并且防止两者之间热传导的绝缘管 52。除此之外，还可以有一个连接到绝缘管 52 的绝缘止动螺母 84，并且进一步简化拉杆和外壳之间的连接。止动螺母 84 和管 52 在将从热转子到外壳结构的热交换最小化的同时，将拉杆以及通道外壳固定在转子芯上。

转子芯、线圈绕组以及线圈支撑部件都是预组装的。线圈以及线圈支撑的预组装降低了产品周期，提高了线圈支撑的质量，并且降低了线圈部件的复杂性。在转子芯和转子端轴以及其它转子部件组装之前，拉杆 42 被插入到延伸穿过转子芯的管道 46 里。每一个拉杆端部的每一绝缘管 52 位于导管 46 的每一端部的扩大端 88。管 52 通过止动螺母 84 被锁定。

螺栓 43 还可以在拉杆被插入到转子芯导管之前或之后插入。螺纹插口 128 和止动螺母 138 在螺栓被设置在拉杆上之前被置于螺栓 43 上。然而，止动螺母在通道外壳被装配之前都不会相对插口拧紧。

螺栓拧入拉杆的深度被这样选择，要保证介于线圈绕组的长边 40 之上的通道外壳部件间的距离要被从拉杆上的一个螺栓端到相对螺栓端的长度所清除。当拉杆和螺栓被安装到转子芯 22 上的时候，线圈绕组 34 将要被插入到转子芯上。

通道外壳 44 被安装到绕组 34 的上部。锁定螺钉被插入以便将楔和侧板保持在一起。然后，线圈绕组以及通道外壳的组合件被插入到拉杆 42 的端部上的转子芯。圆柱状螺纹插口 128 旋入或者是插入到侧板之间，以便使得螺栓头的平端紧挨着绕组的侧部 40 的内表面。止动螺母 138 用来将螺纹插口紧固到螺栓上。

转子芯还可以被嵌入到一个金属圆柱形壳体 90（点划线所示）内从而保护超导线圈绕组 34 不受环绕在转子周围的涡流以及其它电流的影响，同时提供一个真空外壳以便在转子的低温部件的周边形成一个坚固的真空。圆柱形壳体 90 可以由诸如铜合金或铝的高导电性材料制造。

SC 线圈绕组 34 被置于真空中。真空可以由壳体 90 所形成，该壳体包括一个在线圈以及转子芯的周围形成真空的不锈钢圆柱形层。

在转子芯和线圈被安装到轴环以及其他转子部件之前，线圈通道外壳、拉

杆以及螺栓（线圈支撑部件）可以被安装到线圈绕组上。因此，在转子以及同步电机的其它部件组装之前，转子芯、线圈绕组以及线圈支撑系统就可以作为一个单元被组装。

尽管本发明已经参照上面所述的最佳实施例被说明，本发明也不能被限制在上述实施例所述的范围之内，而是根据后面的权利要求的精神覆盖所有的实施例。

<u>标号</u>	<u>说明</u>	<u>标号</u>	<u>说明</u>
10	同步电机	54	跑道形线圈绕组端部
12	定子	78	控制环
14	转子	84	绝缘管以及拉杆的止动螺母
16	定子内的转子腔	86	拉力螺栓端部平面
18	磁场	88	转子芯上的导管宽端
19	定子线圈	90	真空电磁罩
20	转子轴	112	冷却流部分
22	转子芯	114	电流接触
24	转子控制端杆	120	拉杆上用于拧入的孔
25	轴承	121	绝缘管侧壁
26	冷却传导管接头	122	螺栓头
30	转子驱动端轴	123	绝缘管外环
32	涡轮管接头	124	通道外壳侧板
34	转子线圈绕组	126	通道外壳的楔
36	高温超导 (HTS) 线圈	128	通道外壳的插入套
38	冷却段	130	楔侧板上的窄槽
40	绕组的侧边部分	132	线圈侧板上的线圈表面
42	拉杆	134	位于外壳侧板中部的法兰
43	拉力螺栓	135	凸缘
44	通道外壳	136	楔上的通道
46	转子芯中的通道	137	插入口
48	转子芯凹面	138	止动螺母
50	转子芯的外表面	140	楔保险销
52	拉杆套 (绝缘管)		

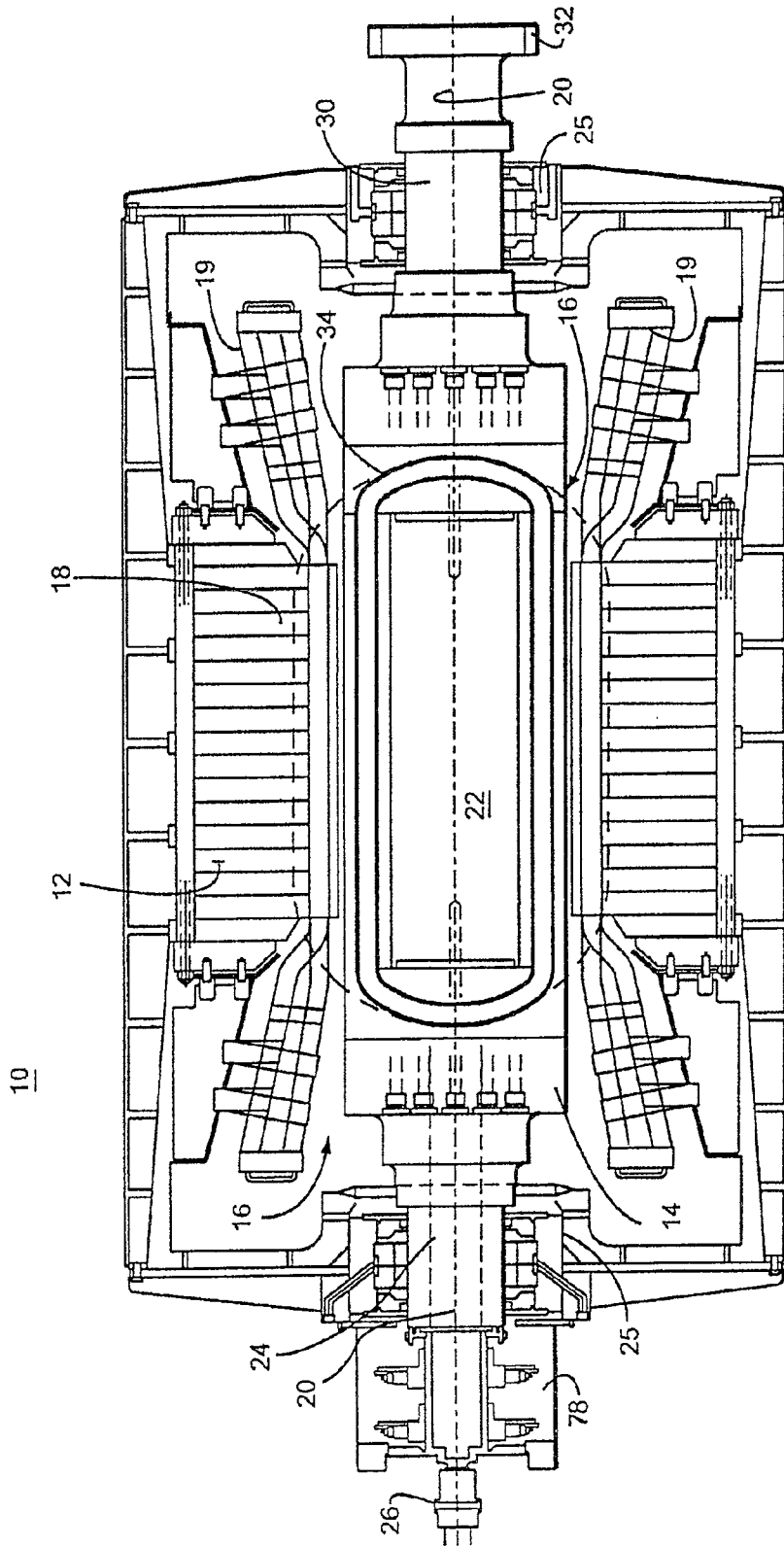


图 1

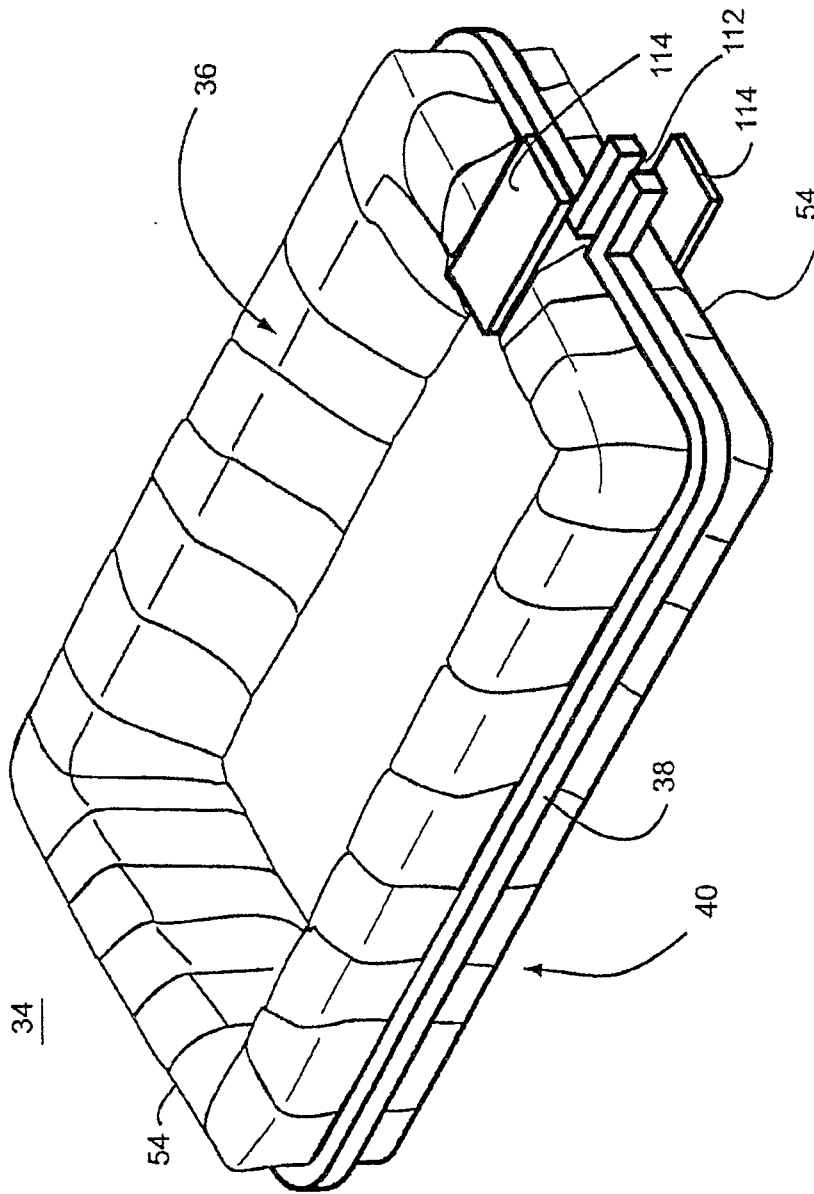


图 2

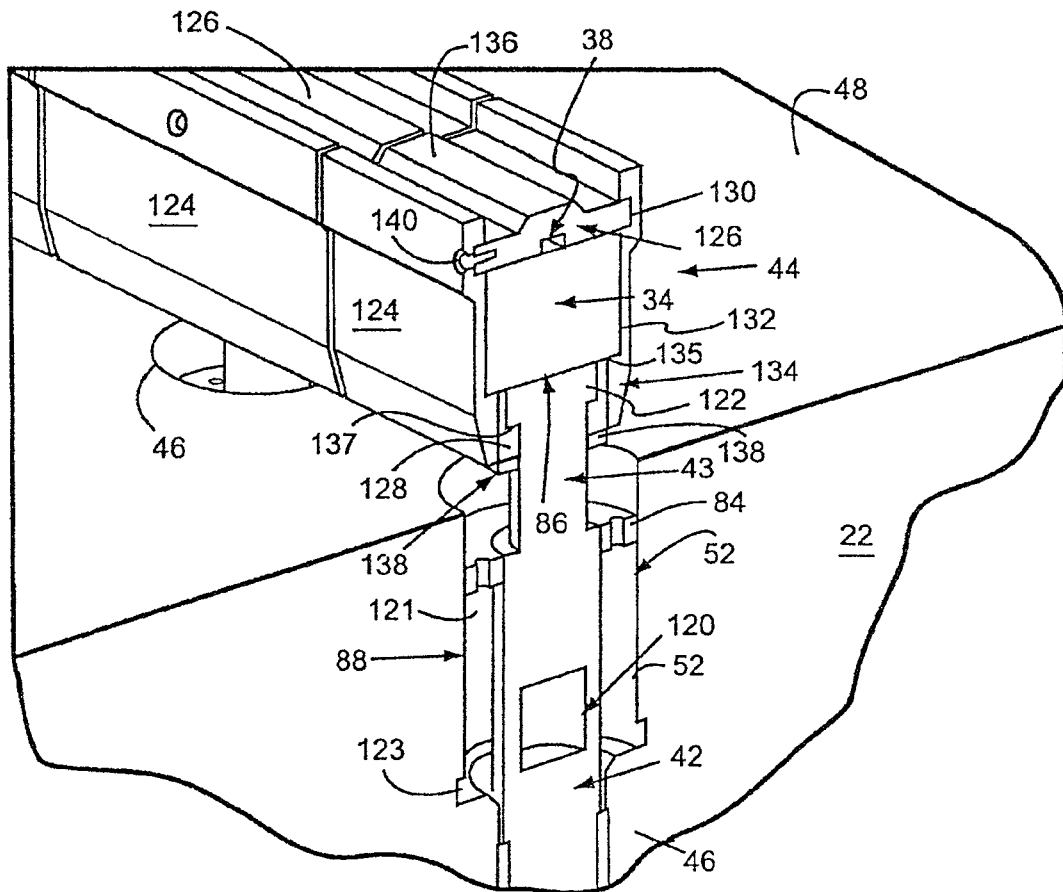


图 3

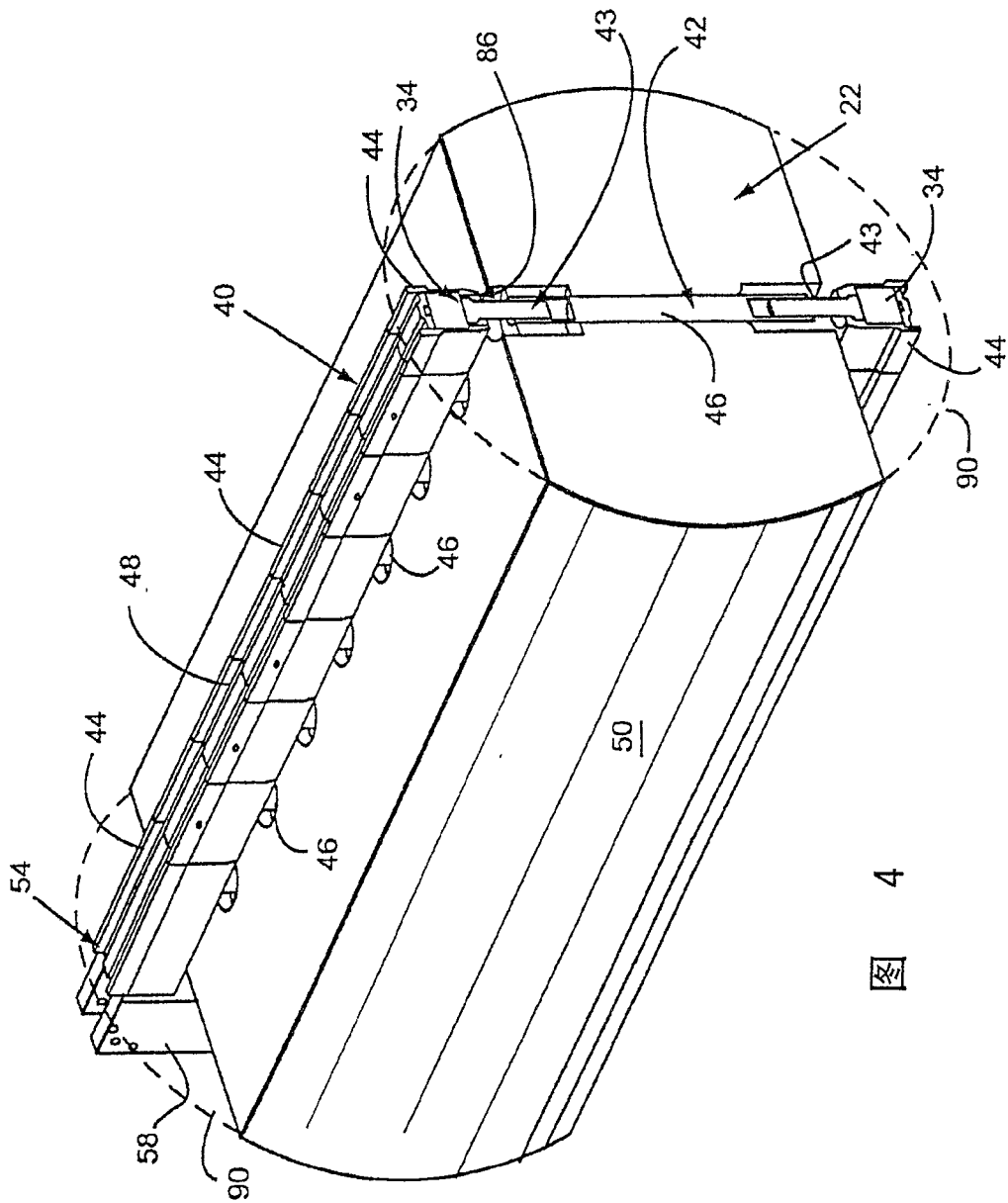


图 4