

[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 02125188.6

[45] 授权公告日 2009 年 4 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 100483902C

[22] 申请日 2002.5.15 [21] 申请号 02125188.6

[30] 优先权

[32] 2001.5.15 [33] US [31] 09/854939

[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

[56] 参考文献

FR1467449 1967.1.27

US4184089 1980.1.15

US3991333 1976.11.9

审查员 项晓娟

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 黄力行

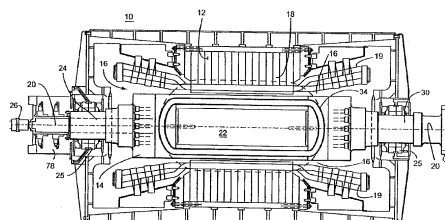
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 4 页

[54] 发明名称

用于同步机的转子和组装该转子的方法

[57] 摘要

介绍一种同步电机的转子，所述转子包括一圆柱形磁实心转子芯；一围绕所述转子芯延伸的轨道形超导线圈绕组；延伸穿过所述转子芯的线圈支架，所述线圈支架被连接到所述线圈绕组的两个相对的长边上和一对从所述转子芯轴向延伸并和所述转子芯相连的端轴。



- 1、一种用于同步机的转子（14），该转子包括：
一个圆柱形磁实心转子芯（22）；具有旋转轴线（20）；
一组轨道形超导线圈绕组（34），围绕所述转子芯（22）延伸并具有基本上平行于所述旋转轴线（20）的相对边部（40）；
线圈支架，包括第一拉杆和线圈外壳（44），其中，线圈外壳（44）支持所述线圈绕组（34）的相对边部（40），该第一拉杆延伸穿过所述转子芯（22）并且其两端分别连接到所述线圈外壳（44）上；
一对端轴（24，30），从所述转子芯（22）轴向延伸并连接到所述转子芯（22）上。
- 2、一种根据权利要求1所述转子（14），其特征在于：在所述转子芯（22）的相对边部上形成一对平面（48），所述线圈绕组（34）的相对边部（40）邻近所述平面（48）。
- 3、一种根据权利要求2所述转子（14），其特征在于：所述转子芯（22）包括多个在所述平面（48）之间延伸的管道（46），所述线圈支架还包括第二拉杆，所述第一拉杆和第二拉杆延伸穿过所述多个管道（46）以支撑线圈绕组（34）。
- 4、一种根据权利要求3所述转子，其特征在于：所述第一拉杆和第二拉杆和线圈绕组（34）处于低温，所述第一拉杆和第二拉杆和所述转子芯（22）热隔离。
- 5、一种根据权利要求4所述转子（14），其特征在于：还包括一种插入转子芯（22）的管道（46）中的隔离管（52）以使所述第一拉杆和第二拉杆与转子芯（22）分开。
- 6、一种根据权利要求1所述转子（14），其特征在于：所述端轴（24，30）由非磁性金属制成。
- 7、一种根据权利要求6所述转子（14），其特征在于：所述端轴（24，30）由不锈钢制成。
- 8、一种根据权利要求1所述转子（14），其特征在于：所述转子芯（22）是实心磁性铁锻件。

9、一种根据权利要求1所述转子(14)，其特征在于：还包括围绕转子芯(22)和线圈绕组(34)的导电壳(90)。

10、一种根据权利要求1所述转子(14)，其特征在于：所述端轴之一(24)是具有集电器环(78)和低温液力联轴器(26)的集电器端轴(24)。

11、一种组装同步机的转子(14)的方法，所述转子(14)具有在实心铁转子芯(22)上的高温超导线圈绕组(34)，所述方法包括如下步骤：

a. 使拉杆(42)延伸穿过所述转子芯(22)中的管道(46)，所述管道在所述转子芯(22)长边上的相对的平面部分(48)之间延伸；

b. 在所述线圈绕组(34)的边部(40)上插上一外壳(44)；

c. 使所述拉杆(42)端部和所述外壳(44)相连；

d. 使一对转子端轴(24, 30)分别和转子芯(22)的相对端部相连。

12、一种根据权利要求11所述方法，其特征在于：还包括利用导电壳(90)覆盖所述转子芯(22)的步骤。

13、一种根据权利要求11所述方法，其特征在于：还包括将低温冷却流体源和所述一对转子端轴中具有低温联轴器(26)的一个端轴(24)相连的步骤。

14、一种根据权利要求11所述方法，其特征在于：每个所述端轴包括具有一轴环槽(64)的轴环(62)，所述方法还包括将所述轴环(62)和所述转子芯(22)的端部相连的步骤，从而所述线圈绕组(34)的端部被装配在所述轴环槽(64)上。

15、一种根据权利要求11所述方法，其特征在于：按由所述步骤a至步骤d的顺序执行所述方法。

16、一种用于同步机的转子(14)，该转子包括：

一圆柱形转子芯(22)，在所述转子芯的两个相对侧面上具有一对平面部分(48)，所述平面部分沿转子芯(22)的纵向延伸；

一组至少围绕所述转子芯(22)的一部分延伸的超导线圈绕组(34)，所述线圈绕组(34)具有一对邻近所述转子芯(22)平面部分(48)的边部(40)；

一个从所述转子芯(22)的第一端部轴向延伸的第一端轴；

一个从所述转子芯(22)的第二端部轴向延伸的第二端轴；以及

线圈支架，包括拉杆(42)和线圈外壳(44)；

其中，线圈外壳(44)支持所述线圈绕组(34)的边部(40)，拉杆(42)

延伸穿过所述转子芯(22)并且其两端分别连接到所述线圈外壳(44)上。

17、一种根据权利要求16所述转子(14)，其特征在于：所述第一端轴包括用于向所述线圈绕组(34)提供冷却流体的低温联轴器(26)。

18、一种根据权利要求16所述的转子(14)，其特征在于：所述线圈支架包括多个延伸穿过所述转子芯(22)的拉杆(42)。

19、一种根据权利要求18所述的转子(14)，其特征在于：所述线圈支架和线圈绕组(34)处于低温，拉杆(42)和所述转子芯(22)热隔离。

20、一种根据权利要求19所述的转子(14)，其特征在于：还包括一种插入转子芯(22)管道(46)的隔离管(52)使所述拉杆(42)和转子芯(22)分开。

21、一种根据权利要求16所述转子(14)，其特征在于：所述第一和第二端轴(24, 30)由非磁性金属制成。

22、一种根据权利要求21所述转子(14)，其特征在于：所述第一和第二端轴(24, 30)由不锈钢制成。

23、一种根据权利要求16所述转子(14)，其特征在于：所述转子芯(22)是实心磁性铁锻件。

24、一种根据权利要求16所述的转子(14)，其特征在于：所述线圈绕组(34)具有轨道形状。

25、一种根据权利要求16所述的转子(14)，其特征在于：还包括围绕所述转子芯(22)和线圈绕组(34)的导电壳(90)。

26、一种根据权利要求16所述的转子(14)，其特征在于：所述第一端轴是集电器端轴(24)。

用于同步机的转子和组装该转子的方法

技术领域

本发明通常涉及一种同步旋转机械中的超导线圈。更具体地说，本发明涉及一种具有超导线圈、线圈支架结构和电磁壳的转子。

背景技术

具有励磁线圈绕组的同步电机包括但不限于旋转发电机、回转马达和线性电动机。这些机器通常包括电磁耦合的定子和转子。转子可以包括多极转子芯和一个或多个安装在该转子芯上的线圈绕组。该转子芯可以包括诸如铁芯转子的永磁固体材料。

通常在同步电机中地绕组使用普通的铜绕组。然而铜绕组的电阻（虽然用普通方法测量很低）足以加热转子并降低设备的功率效率。近些年来，研究出用于转子的超导（SC）线圈绕组。超导线圈绕组有效地使电阻近似为零，是更高效的转子线圈绕组。

在大约2特斯拉的气隙磁场强度位置，铁芯转子磁性饱和。众所周知的超导转子利用空心设计，即转子内没有铁芯，以实现3特斯拉或更大的气隙磁场。这些高气隙磁场使电机的功率密度增加，有效地减少了设备的重量和尺寸。空心超导转子要求大量的超导线圈。大量的SC线圈增加了所要求的线圈数量、线圈支架的复杂性和SC线圈绕组以及转子的成本。

高温SC励磁线圈绕组由易碎的超导材料制成，必须对其进行冷却，使其温度低于临界温度，例如27° K，以实现和保持超导性。所述SC绕组可以由诸如BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$) 基导体的高温超导材料制成。

超导线圈被液态氮冷却。通过转子的线圈之后，热量使液态氮变为室温下的气态氮。使用用于低温冷却的液态氮要求对返回的室温的气态氮进行连续的重新液化（reliquefaction），这种重新液化引起重要的可靠性问题并要求可观的备用的能量。

现有SC线圈冷却技术包括通过低温冷却机的固体传导路径对浸渍了环氧树脂的SC线圈进行冷却。另一种方案是，转子内的冷却管可以将液体和 / 或气态冷却

剂传输到多孔的SC线圈绕组, 该SC线圈绕组被浸泡在液体和 / 或气态冷却剂流中。然而浸泡冷却要求整个励磁绕组和转子结构都处于低温, 因而由于铁在低温下易碎, 不能在转子磁电路中使用铁。

需要这样一种电机的超导励磁绕组装配, 所述电机没有例如众所周知的超导转子空心 and 液体冷却超导励磁绕组装置的缺点。

此外, 高温超导线圈 (HTS) 对高挠度和拉伸应变所引起的老化很敏感。这些线圈必须经受给线圈带来应力和应变的离心力。正常情况下在 几年内, 电机的正常操作涉及成千上万次开机和停机, 导致转子的低周期的疲劳负载。此外, 在环境温度下, 在转子平衡过程期间, HTS转子绕组应该能够抵御25%的超速操作, 在发电期间, 在低温条件下不能够抵御瞬时的超速。在正常操作情况下, 这些超速情况通常增加了线圈的离心力负载。

高应变可能损伤HTS超导线。为了抵抗高应变, 过去一直采用笨重的和复杂的线圈绕组以及线圈支架结构保护HTS导线。然而, 笨重的、复杂的超导线圈绕组和支撑的成本昂贵, 特别是在空心电机领域更是如此。此外这些笨重的线圈必须被冷却到低温, 要求大的制冷系统。

线圈绕组通常和热的线圈支架和转子热隔离。为了使线圈绕组绝缘, 一直使用大的热隔离体将线圈和它们的支撑系统隔离开, 由于绝缘体位于线圈和它们地支撑系统之间现有的热 绝缘体结构很大, 它们可以承担线圈的高离心负载。由于这些大的热隔离体和冷的线圈接触。对于线圈来说, 绝缘体是大的热源。在设计使绝缘体减少向线圈传输热量的同时, 绝缘体导致需要大的制冷热负载和昂贵的制冷机。

研制用于HTS线圈的支撑系统一直是使SC线圈适用于HTS转子过程中一项困难任务。美国专利US5,548,168; US5,532,663; US5,672,921; US5,777,420; US6,169,353和US6,066,906介绍了用于HTS转子的线圈支架系统。然而这些线圈支架系统具有严重的问题, 例如成本高、复杂并要求过多的元件。一直需求一种具有用于SC线圈的线圈支架系统的HTS转子。也需求一种成本低并容易制造的线圈支架系统。

发明内容

已经研制出一种高温超导 (HTS) 转子, 所述转子具有由例如铁的实心磁材料制成的两极芯体。转子芯体通常是圆柱形并沿其长度方向具有纵向机加工出的平

面。围绕这些平面组装HTS线圈，线圈具有围绕转子芯延伸的轨道形状。轨道形线圈被延伸穿过铁芯转子体的拉杆支撑元件所支撑。驱动和集电轴被机械地固定在所述转子芯上。圆柱形电磁壳围绕所述HTS线圈和铁芯转子体。

铁芯转子体相对于空气冷却的转子显著地减少了励磁绕组安培匝数、超导导体的使用 and 成本。单轨道形HTS线圈替代了普通的复杂的鞍形线圈绕组。拉杆支撑元件提供了对HTS线圈的直接的支撑，从而在冷却和离心负载期间减少了线圈上的应变。此外，线圈支架系统和线圈一起处于低温。

HTS转子可以被应用在最初设计包括SC线圈的机器中。另一种方案是，可以应用HTS转子，利用单轨道形高温超导（HTS）线圈替代两极同步电机的普通励磁绕组。转子和它的SC线圈在有关发电机的上下文部分中被介绍，但是这里所介绍的HTS线圈转子和线圈支架也适用于其它同步电机。

根据本发明，提供了一种用于同步机的转子，该转子包括：一个圆柱形磁实心转子芯；具有旋转轴线；一组轨道形超导线圈绕组，围绕所述转子芯延伸并具有基本上平行于所述旋转轴线的相对边部；线圈支架，包括拉杆和线圈外壳，其中，线圈外壳支持所述线圈绕组的相对边部，拉杆延伸穿过所述转子芯并且其两端分别连接到所述线圈外壳上；一对端轴，从所述转子芯轴向延伸并连接到所述转子芯上。

根据本发明，提供了一种组装同步机的转子的方法，所述转子具有在实心铁转子芯上的高温超导线圈绕组，所述方法包括如下步骤：a. 使拉杆延伸穿过所述转子芯中的管道，所述管道在所述转子芯长边上的相对的平面部分之间延伸；b. 在所述线圈绕组的边部上插上一外壳；c. 使所述拉杆端部和所述外壳相连；d. 使一对转子端轴分别和转子芯的相对端部相连。

根据本发明，提供了一种用于同步机的转子，该转子包括：一圆柱形转子芯，在所述转子芯的两个相对侧面上具有一对平面部分，所述平面部分沿转子芯的纵向延伸；一组至少围绕所述转子芯的一部分延伸的超导线圈绕组，所述线圈绕组具有一对邻近所述转子芯平面部分的边部；一个从所述转子芯的第一端部轴向延伸的第一端轴；一个从所述转子芯的第二端部轴向延伸的第二端轴；以及线圈支架，包括拉杆和线圈外壳；其中，线圈外壳支持所述线圈绕组的相对边部，拉杆延伸穿过所述转子芯并且其两端分别连接到所述线圈外壳上。

因此本发明提供了下述技术方案：

一种用于同步机的转子，该转子包括：

一个圆柱形磁实心转子芯；具有旋转轴线；

一组轨道形超导线圈绕组，围绕所述转子芯延伸并具有基本上平行于所述旋转轴线的相对边部；

线圈支架，包括第一拉杆和线圈外壳，其中，线圈外壳支持所述线圈绕组的相对边部，该第一拉杆延伸穿过所述转子芯并且其两端分别连接到所述线圈外壳上；

一对端轴，从所述转子芯轴向延伸并连接到所述转子芯上。

一种组装同步机的转子的方法，所述转子具有在实心铁转子芯上的高温超导线圈绕组，所述方法包括如下步骤：

a. 使拉杆延伸穿过所述转子芯中的管道，所述管道在所述转子芯长边上的相对的平面部分之间延伸；

b. 在所述线圈绕组的边部上插上一外壳；

c. 使所述拉杆端部和所述外壳相连；

d. 使一对转子端轴分别和转子芯的相对端部相连。

一种用于同步机的转子，该转子包括：

一圆柱形转子芯，在所述转子芯的两个相对侧面上具有一对平面部分，所述平面部分沿转子芯的纵向延伸；

一组至少围绕所述转子芯的一部分延伸的超导线圈绕组，所述线圈绕组具有一对邻近所述转子芯平面部分的边部；

一个从所述转子芯的第一端部轴向延伸的第一端轴；

一个从所述转子芯的第二端部轴向延伸的第二端轴；以及

线圈支架，包括拉杆和线圈外壳；

其中，线圈外壳支持所述线圈绕组的边部，拉杆延伸穿过所述转子芯并且其两端分别连接到所述线圈外壳上。

附图说明

下文结合附图介绍符合本发明的优选实施例。

图1是具有超导转子和定子的同步电机的示意性侧视图；

图2是轨道（race-track）超导线圈绕组的透视图；

图3是高温超导（HTS）转子的元件的分解图；

图4~8是图3所示HTS转子的示意性横截面视图。

具体实施方式

图1示意性显示了一种具有定子12和转子14的同步发电机10。转子包括被安装在定子的圆柱形真空空腔16内的励磁绕组线圈。转子被装配在定子的转子真空空腔内。随着转子在定子内转动，转子和转子线圈所产生磁场18（图中用虚线表示）通过定子而运动/转动，并在定子线圈绕组19内产生电流。这种电流作为电能被发电机输出。

转子14具有通常纵向延伸的轴线20和通常是实心转子芯22。实芯22具有高的磁导率，通常由诸如铁的铁磁材料制成。在低功率密度的超导机器中，转子的铁芯被用于降低磁通势（MMF），使线圈绕组所需的超导（SC）线匝的数量最小。例如在大约2特斯拉的气隙磁场强度位置，铁实心转子芯可以被磁饱和。

转子14至少支撑一个纵向延伸的、轨道形的高温超导（HTS）线圈绕组34（看图2）。这里所介绍的线圈支架系统适用于单轨道SC线圈绕组。除了被安装在实心转子芯上的单轨道SC线圈绕组之外，线圈支架系统可以被改造以适合于其它的线圈结构，例如多轨道SC线圈绕组。

转子芯被连接在其上的端轴所支撑。转子包括被轴承25所支撑的一集电器端轴24和一驱动端轴30。所述端轴可以和外部设备连接。集电器端轴24包括向SC线圈提供外部电连接的集电环78。集电器端轴24也具有致冷剂输送联轴器26，该联轴器和用于冷却转子内的SC线圈绕组的冷却液体源相连。致冷剂输送联轴器26包括一和冷却液体源相连的固定部分和一向SC线圈绕组提供冷却液体的转动部分。驱动端轴30通过一动力联轴器可以被动力涡轮机驱动。

图2示意性显示了HTS轨道形励磁绕组线圈34。转子的SC励磁绕组线圈34包括一高温超导（SC）线圈36。每个SC线圈包括一高温超导体，例如层叠在浸渍有固体环氧树脂的绕组上的BSCCO（ $\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$ ）缆芯线。例如，一些BSCCO2223导线可以层叠粘接在一起并缠绕成浸渍有固体环氧树脂的线圈。

SC导线是易碎的，并容易被损坏。SC线圈通常被层缠绕在浸渍有环氧树脂的

SC带上。该SC带以精确的线圈形式被缠绕，获得精密的尺寸公差。该带被围绕螺旋线缠绕，形成轨道形SC线圈。

轨道形线圈的尺寸依赖于转子芯的尺寸。通常每个轨道形SC线圈环绕转子芯两端的磁极，并平行于转子轴线。线圈绕组连续地围绕着所述轨道。SC线圈形成围绕转子芯并位于转子芯的磁极之间的无电阻电流通道。线圈具有将线圈电连接到集电器78的电接头114。

用于低温冷却液体的流体通道38被包含在线圈绕组34内。这些通道可以围绕SC线圈36的外边缘延伸。所述通道将冷却液体提供到线圈并将热量从线圈中转移走。在需要创立超导条件即线圈内没有电阻的SC线圈绕组中，冷却液体保持低温也就是27° K。冷却通道在转子芯一端具有输入和输出流体口112。这些流体（气体）口112将SC线圈上的冷却通道38和制冷剂输送联轴器26相连。

每个HTS轨道形线圈绕组34具有一对通常是平行于转子轴线20的直侧部分40和一对垂直于转子轴线的端部54。线圈的侧部经受更大的离心力。因此，侧部被抵消作用在线圈上的离心力的线圈支架系统所支撑。

图3是转子芯22和用于高温超导线圈的线圈支架系统的分解图。该支撑系统包括拉杆42，每个拉杆的两端和U型线圈外壳相连。所述线圈外壳保持和支撑转子内的线圈绕组38的侧部40。图3显示了一个拉杆和线圈外壳，线圈支架系统通常包括一系列拉杆，所述线圈外壳和每个拉杆的端部相连。图3显示了延伸到线圈侧部40之外的拉杆的端部86，但是在生产实际中，该端部将邻接线圈的内表面。拉杆和线圈外壳阻止在转子操作期间对线圈绕组的伤害，支撑线圈对抗离心力和其它力，提供一种线圈绕组的防护壳。

在转子转动期间，铁芯转子内的HTS线圈绕组的主要负载来自离心加速度。需要有效的线圈结构支撑以对抗离心力。经受最大离心加速度的线圈侧部40特别需要线圈支架。为了支撑线圈侧部，拉杆42在线圈断面之间跨越并和夹持线圈断面相对侧边的线圈外壳44相连。所述拉杆延伸穿过管道46，也就是转子芯上的开口，因而拉杆可以在同一个线圈的侧断面之间跨越或跨越相邻线圈。

管道46通常是转子芯内的圆柱形通道并大体上具有直线型轴线。除了靠近转子凹入表面的端部之外，所述管道的直径是恒定的，在所述管道端部，管道的直径可以增大，以容纳不导电的圆柱形绝缘管52，所述绝缘管52在转子芯和拉杆之间提供一可滑动的承载表面和热隔离。

管道46的轴线通常位于轨道形线圈所确定的平面内。此外，管道的轴线垂直于和延伸穿过所述管道的拉杆相连的线圈侧部。此外在所示实施例中，管道垂直于转子轴线并和转子轴线相交。管道的数量和位置取决于HTS线圈的位置和需要支撑线圈侧部的线圈外壳的数量。

由于拉杆基本上径向地在线圈绕组的侧边之间延伸，所述拉杆支持线圈对抗离心力。每个拉杆是一沿杆纵向方向连续延伸的轴并位于轨道形线圈所在的平面内。拉杆的纵向连续性使线圈具有横向刚性，给转子提供了动态优点。此外，横向刚性允许使线圈支架和线圈成为一体，从而在最终装配转子之前，先将线圈和线圈支架装配在一起。预先装配线圈和线圈支架降低了生产周期，改善了线圈支架质量，降低了线圈装配质量的变动。轨道形线圈被一排横跨线圈长边的拉杆支撑。拉杆线圈支架元件被预先装配在线圈上。

HTS线圈绕组和结构支撑元件处于低温状态。相反，转子芯处于周围环境温度即“高温”。线圈支架是潜在的热传导源，允许将热量从转子芯传递到HTS线圈。在操作期间转子变热。由于线圈被保持在超冷条件下，禁止将热量传导到线圈。拉杆延伸穿过转子内的开口，也就是管道，但是不接触转子。缺乏接触避免了将热量从转子传导到拉杆和线圈。

为了降低从线圈泄漏热量，使线圈支架最小化，降低从热源例如转子芯通过所述支架的热传导。通常用于超导绕组的支架有两种：（1）“热”支架和（2）“冷”支架。在热支撑中，支架结构和冷却的SC绕组热隔离。利用热支架，超导（SC）线圈的大多数机械负载被横跨冷、热元件的结构元件所支撑。

在冷支架系统中，支架系统处于或接近SC线圈的低温。在冷支架中，超导（SC）线圈的大多数机械负载被处于低温或接近低温的结构元件所支撑。这里所介绍的支架系统是一种冷支架，拉杆和将拉杆连接到SC线圈的线圈外壳被保持在低温和在接近低温。由于支撑元件是冷的，也就是通过不接触穿过转子芯的管道，这些元件和转子的其它热元件热隔离。

一种单独支撑元件包括拉杆42（可以是一个杆件和该杆件两端的一对螺栓）、一对线圈外壳44和将每个线圈外壳和拉杆端部相连的定位销80。每个线圈外壳44是U形托架，该托架具有和拉杆相连的腿和接收线圈绕组34的通道。该U形托架能够准确地和方便地组装线圈的支撑系统。多个线圈外壳可以沿线圈绕组的侧部端对端地安置。所述多个线圈外壳共同地将作用在线圈上的力也就是离心力基本分

布在每个线圈的整个侧边部40。

线圈外壳44阻止线圈侧边由于离心力的影响而过度挠曲和弯曲。线圈支架并不限制燃气轮机正常启动 / 关闭操作期间出现的线圈在纵向热膨胀和收缩。具体地说, 主要沿侧部的长度方向热膨胀。因而线圈侧部相对于线圈外壳和拉杆稍微纵向滑移。

U形线圈外壳由轻的高强度的、在低温下可延展的材料制成。通常用于制造线圈外壳的材料是非磁性的铝、铬镍铁合金或钛合金。为了低重量和高强度, 可以对U形线圈外壳的形状进行优化。

定位销80延伸穿过线圈外壳和拉杆上的开口。为了降低重量, 定位销可以是中空的。锁紧螺母(未示)可以被拧在或连接到定位销80的端部, 以固定所述外壳并阻止线圈外壳侧部在负载作用下向外展开。所述定位销可以由高强度的铬镍铁合金或钛合金制成。拉杆被制造的具有更大直径的端部, 在所述端部机加工出两个平面86。

这些平面的宽度适合于U形线圈外壳和线圈的宽度。当将拉杆、线圈和外壳组装在一起时, 拉杆的平面端86邻近HTS线圈34的内表面。这种组装减少了应力在接收定位销的拉杆孔上的集中。

当线圈支架系统和HTS线圈34被安装在转子芯22上时, 由用于线圈长侧40的拉杆42、线圈外壳44和一对用于线圈端部的开口夹58组成的线圈支架系统可以和HTS线圈34装配在一起。拉杆、通道外壳和开口夹提供了一定刚度的结构, 用于相对于转子芯支撑线圈绕组并夹持线圈绕组。

每个拉杆42延伸穿过转子芯, 可以正交地穿过转子轴线20。通过转子芯的管道46提供了拉杆延伸所需的通道。管道46垂直地穿过转子轴线并沿转子芯的长度对称分布。管道46和拉杆42的数量和它们在转子芯上的分布以及彼此相对的位置关系是设计时需要考虑的问题。管道的直径很大, 足以避免管道的热壁和冷的拉杆接触。所述避免接触改善了拉杆和转子芯之间的热隔离。

如图5和6所示, 转子14包括三个主要结构元件, 即不锈钢驱动轴30、铁转子芯22和非磁性不锈钢集电轴。转子芯和端轴通常是分离的元件, 通过螺栓或焊接, 将它们组装和紧固地连接在一起。利用嵌接和螺栓, 将驱动和集电轴和转子芯相连。铁转子芯是圆柱形锻件并具有一机加工后平面48, 所述平面横跨转子芯的正交轴线, 以接收用高温超导带缠绕成的轨道形线圈34。

由铜或铝合金制成的高传导的圆柱形壳90装配在转子芯上。所述壳被用作转子绕组的电磁屏蔽壳并可以形成围绕低温转子线圈绕组的真空空腔的真空外壳(vacuum envelope)。该电磁屏蔽壳的端部被结合到不锈钢不规则环130上,所述不规则环作为壳90的零件被制造。所述壳组件被焊接到驱动和集电轴上,形成一个围绕线圈绕组的真空密封的组件。

为了接收线圈绕组,转子芯具有凹入表面48,例如平面或三角形区域或槽。这些表面48被形成在圆柱形芯的曲面上并纵向延伸穿过转子芯。线圈绕组34邻近所述凹入表面48而被安装在转子上。线圈通常沿凹入区域的外表面纵向延伸并围绕转子芯端部。转子芯的凹入表面48接收线圈绕组。凹入区域的形状和线圈绕组的形状相符。例如,如果线圈绕组具有鞍形或其它形状,转子芯的凹入区域将被构造成接收线圈的形状。

凹入区域48接收线圈绕组,因此线圈绕组的外表面延伸到转子转动所确定的一包络面。当转动时,转子芯的外曲表面50确定了圆柱形包络面。转子的这种转动包络面具有和定子内转子空腔(看图1)相同的直径。

由于转子不需要通风冷却,转子包络面和定子空腔16之间的间隙是极小的间隙,仅用于对定子强迫冷却通风。希望使转子和定子之间的间隙尽可能地小,从而增加转子线圈绕组和定子线圈之间的电磁耦合。此外最好这样安置转子线圈绕组,即它延伸到转子所形成的包络面,因而它和定子之间的间隙等于转子和定子之间的间隙。

线圈绕组34的端部54邻近转子芯的相对的端部56。开口夹58夹持转子内的线圈绕组的每个端部。在每个线圈端部54,开口夹包括一对相对的板60,在所述板之间夹着线圈绕组34。开口夹的表面包括用于容纳线圈绕组和与线圈的接头112、114的通道。

开口夹58可以由诸如铝或铬镍铁合金的非磁性材料组成。同样或类似的非磁材料可以被用于形成拉杆、通道外壳和线圈支架系统的其它元件。由于在低于居里转变温度时,铁磁材料变脆不能被用作承担负载结构件,线圈支架系统最好是非磁性的,以便在低温时保持韧性。

开口夹58被轴环包围但是并不和所述轴环62接触。端轴24、30包括和转子芯22端部相连的轴环62,所述轴环是由诸如诸如不锈钢和与形成转子端轴相同或类似材料的非磁性材料制成的厚盘。轴环具有和转子轴线垂直的槽64,所述槽的宽

度使它能够接收开口夹58，并能将开口夹58从其中取出。槽的热侧壁66和冷的开口夹分开，所以它们不彼此接触。

轴环62可以包括凹盘区域68（该区域被槽64对分），以接收转子芯的突起盘部分70（参考转子芯相反端，该相反端的突起盘被插入相对的轴环内）。转子芯端部56上的突起盘区域插入凹入盘68，对轴环内的转子芯提供了支撑，并帮助转子芯和轴环对正。此外轴环上具有多个圆形分布的螺栓孔72，所述螺栓孔纵向延伸穿过轴环并围绕着轴环的边缘。这些螺栓孔对应于部分延伸进入转子芯的相匹配的螺纹孔74。螺栓75（看图5）延伸穿过这些纵向的螺栓孔72、74，将轴环固定在转子芯上。

转子芯可以被封闭在金属圆柱形壳90内，所述壳使超导线圈绕组避免涡电流和其它围绕转子的电流的冲击，它提供所需要的用于保持围绕转子低温元件的高度真空的真空外壳。该圆柱形壳90可以由诸如铜合金或铝的高导电性材料形成。SC线圈绕组34被保持在真空内。所述真空可以由壳90形成，所述壳90包括形成围绕线圈和转子芯的真空容器的不锈钢圆柱层。

图6~8显示了集电器端轴24的横截面视图。具体地说，这些图显示了通过轴的管道76，所述管道提供了一条冷却流体管和电子线路的通道。图7和8显示了集电器端轴的管道76和靠近转子芯的相关的轴的结构。图7所示的横截面垂直于图8所示的横截面。图6显示了靠近冷却联轴器26的集电器端轴24端部的横截面。

线圈绕组34的电接头114和电子线路132相连。这些线路在端轴24的长度上向集电器环78延伸。所述电子线路延伸穿过管道76。线路132冷却端部分被支撑在热隔离体管140的内部。电接头134将端轴内部的线路132和导线136相连，所述导线136延伸到轴外并延伸到集电器联结环138。

线圈的冷却流体入口和输出口112和沿端轴长度延伸的输入和输出冷却管94相连。这些管是同轴的。输入管142位于输出管150的中心。输入管142延伸到和转子芯轴线同心的线圈管接头112。线圈管接头112的冷却空气出口146偏离于转子通道。所述空气出口和气体传输外壳148相连。该外壳148直接将来自线圈的冷却液体输送到环形输出管150。该输出管150和输入管142同轴并位于输入管的外部。

以上已对本发明作了十分详细的描述，所以阅读和理解了本说明书后，对本领域技术人员来说，本发明的各种改变和修改将变得明显。所以一切如此改动和修正也包括在此发明中，因此它们在权利要求书的保护范围内。

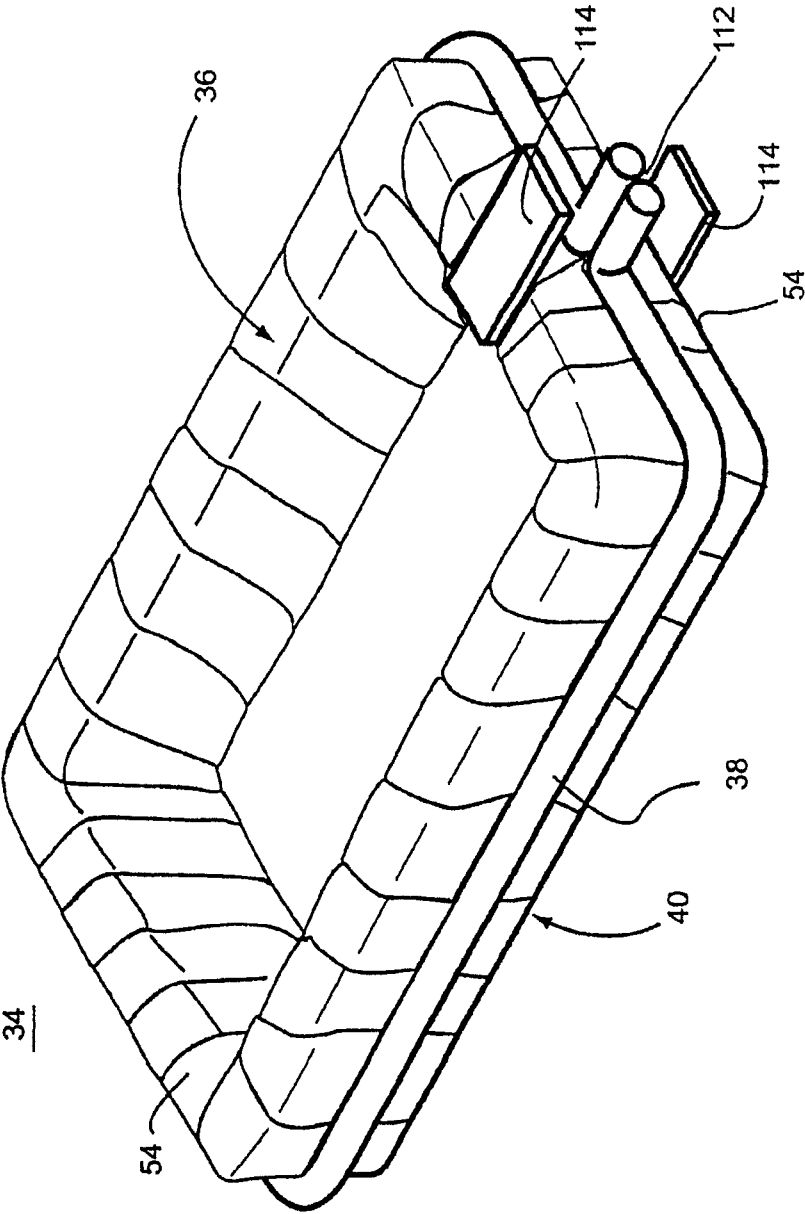


图 2

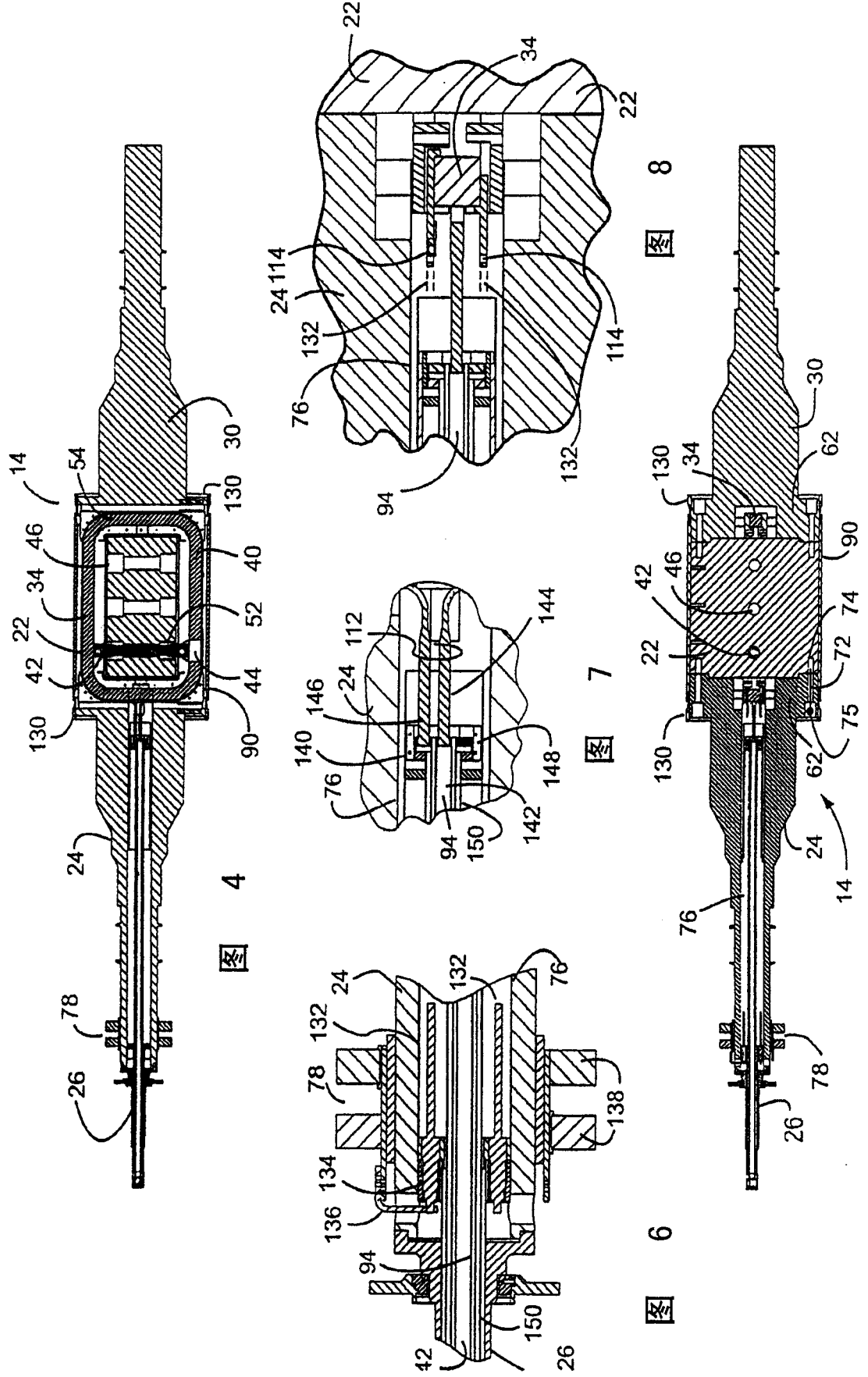


图 5

图 8

图 7

图 6

图 4