



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103196671 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 10

(21) 申请号 201310066235. 6

(22) 申请日 2013. 03. 01

(71) 申请人 北京中科科仪股份有限公司

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条
13 号

申请人 清华大学

(72) 发明人 张凯 武涵 李奇志 张小章
邹蒙

(74) 专利代理机构 北京三聚阳光知识产权代理
有限公司 11250

代理人 寇海侠

(51) Int. Cl.

G01M 13/04 (2006. 01)

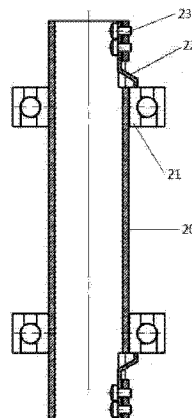
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置及
方法

(57) 摘要

本发明涉及一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置及方法,其中装置包括:模拟转子,由绝缘材料制备,装入磁悬浮分子泵中,其转动时能带动径向保护轴承内圈转动;导电部件,与所述径向保护轴承内圈连接;电容表包括两个接线端子,其中第一接线端子与所述导电部件连接,第二接线端子与所述泵体连接;所述电容表测量所述径向保护轴承内圈与所述泵体之间的电容值。通过本发明提供的装置测量径向保护轴承内圈和泵体之间的电容变化情况即可以有效获得保护轴承的当前状态信息,避免保护轴承失效造成的恶性事故。本发明提出的磁悬浮分子泵检测方法,检测效率高、成本低,可以有效的避免由于保护轴承失效引起的恶性事故及相关经济损失。



1. 一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,其特征在于,包括:

模拟转子(20),由绝缘材料制备,装入磁悬浮分子泵中,其转动时能带动径向保护轴承内圈(21)转动;

导电部件(22),与所述径向保护轴承内圈(21)连接;

电容表包括两个接线端子,其中第一接线端子与所述导电部件(22)连接,第二接线端子与所述泵体(3)连接;所述电容表测量所述径向保护轴承内圈(21)与所述泵体(3)之间的电容值。

2. 根据权利要求1所述的磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,其特征在于:

所述模拟转子(20)为圆柱体,所述模拟转子与所述径向保护轴承内圈(21)为过渡配合。

3. 根据权利要求2所述的磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,其特征在于:

所述模拟转子为中空结构,且在所述模拟转子上开设一通孔;

所述导电部件(22)一端与第一径向保护轴承内圈或第二径向保护轴承内圈连接,另一端连接导线,所述导线穿过所述通孔进入中空结构后延伸至所述圆柱体之外。

4. 根据权利要求2所述的磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,其特征在于:

所述模拟转子为中空结构,且在所述模拟转子上靠近两个底面的两端分别开设第一通孔和第二通孔;

所述导电部件(22)为两个,其中一个导电部件一端与第一径向保护轴承内圈连接,另一端连接导线,所述导线穿过第一通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子之外;另一个导电部件一端与第二径向保护轴承内圈连接,另一端连接导线,所述导线穿过第二通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子之外。

5. 根据权利要求3或4所述的磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,其特征在于:

所述导电部件(22)通过固定件(23)固定于所述模拟转子的内壁上。

6. 一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1. 在磁悬浮分子泵出厂前,将转子从磁悬浮分子泵中抽出,插入所述模拟转子,电容表的一个接线端子通过导电部件(22)与所述径向保护轴承内圈(21)连接,另一个接线端子直接与泵体(3)连接;

S2. 转动所述模拟转子(20),带动径向保护轴承内圈相对于外圈转动数周,记录所述电容表测量的所述径向保护轴承内圈与所述泵体(3)之间电容值的极大值 $C_{\max}$ 或极小值 $C_{\min}$ 作为基准存储于控制器(2)中的存储介质中;

S3. 若所述磁悬浮分子泵在使用过程中,出现转子失稳跌落的情况,则在下一次控制所述转子起浮之前,进行如下检测步骤:

S3-1. 按照所述步骤 S1 的方式将所述模拟转子、导电部件和电容表连接;

S3-2. 转动所述模拟转子,带动所述径向保护轴承内圈相对于外圈转动数周,记录所述电容表测量的所述径向保护轴承内圈与所述泵体(3)之间电容值的极大值 $C'_{\max}$ /极小值 $C'_{\min}$;

S3-3. 获取所述极大值 $C'_{\max}$ 与所述基准极大值 $C_{\max}$ 的极大值的比例关系 $C_1 = C'_{\max}/C_{\max}$; 或者所述极小值 $C'_{\min}$ 与所述基准极小值 $C_{\min}$ 的极小值的比例关系 $C_2 = C'_{\min}/C_{\min}$; 若所述极大值的比例关系 C_1 或所述极小值的比例关系 C_2 超出阈值,则判定所述径向保护轴承失效;否

则所述径向保护轴承有效。

7. 根据权利要求 6 所述的磁悬浮分子泵径向保护轴承的测方法,其特征在于:所述步骤 S3-2 中,所述阈值为 1.4。

8. 根据权利要求 6 或 7 所述的磁悬浮分子泵径向保护轴承的检测方法,其特征在于:所述步骤 S3-1 之前,还包括如下步骤:

S301:记录所述径向保护轴承的可承受失稳跌落次数;

S302:记录磁悬浮分子泵运行过程中所述转子失稳跌落的次数;

S303:比较所述转子失稳跌落的次数是否小于可承受失稳跌落次数,若所述转子失稳跌落的次数小于所述的可承受失稳跌落次数则进入所述步骤 S3-1;否则直接判定所述径向保护轴承失效。

一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及真空获得设备技术领域,特别是一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置及方法。

背景技术

[0002] 磁悬浮分子泵是一种采用磁轴承作为转子支承的分子泵,它利用磁轴承将转子稳定地悬浮在空中,使转子在高速工作过程中与定子之间没有机械接触,具有无机械磨损、能耗低、允许转速高、噪声低、寿命长、无需润滑等优点,目前磁悬浮分子泵广泛地应用于高真空度、高洁净度真空环境的获得等领域中。

[0003] 磁悬浮分子泵的内部结构如图 1 所示,所述磁悬浮分子泵的转子包括转子轴 7 和与所述转子轴 7 固定连接的叶轮 1。所述叶轮 1 固定安装在所述转子轴 7 的上部;所述转子轴 7 的中部依次间隔地套设有第一径向保护轴承 4、第一径向位移传感器 5、第一径向磁轴承 6、电机 8、第二径向磁轴承 9、第二径向位移传感器 10 和第二径向保护轴承 11 等。其中,径向保护轴承(所述第一径向保护轴承 4 和所述第二径向保护轴承 11)的内径小于径向磁轴承(所述第一径向磁轴承 6 和所述第二径向磁轴承 9)的内径。该结构中,所述转子轴 7 分别与第一径向位移传感器转子,第一径向磁轴承转子,电机转子,第二径向磁轴承转子,第二径向位移传感器转子等固定连接。

[0004] 所述磁悬浮分子泵还配置有控制其运转的控制器 2,在磁悬浮分子泵工作过程中,所述控制器 2 控制所述电机 8 驱动转子高速转动。且所述控制器 2 根据径向位移传感器(所述第一径向位移传感器 5 和所述第二径向位移传感器 10)的输出信号运算分析得出转子的径向位移,进而驱动相应的径向磁轴承输出电磁力对转子的径向运动进行控制,转子在径向磁轴承输出的电磁力的支承作用下,可以稳定悬浮于目标位置,不会与磁悬浮分子泵的其他部件接触。

[0005] 如果在磁悬浮分子泵运行过程中由于所述控制器 2 故障、外界扰动及其他故障导致磁轴承无法正常工作,其输出的电磁力无法保持转子稳定悬浮于目标位置,则高速旋转的转子会立即失稳跌落,跌落的转子会与磁悬浮分子泵内其他部件发生碰撞,造成碎泵或者转轴、磁轴承等部件损坏的恶性事故。设置径向保护轴承的目的就在于:当转子失稳跌落时,由于径向保护轴承的内径小于径向磁轴承定子的内径,失稳的转子会直接跌落在径向保护轴承上而不会与磁悬浮分子泵内其他部件接触,高速旋转的转子在径向保护轴承上继续旋转,在旋转过程中转速会逐渐下降直到速度为零,由此实现对转子、径向磁轴承等部件起到保护作用。

[0006] 为了实现上述目的,径向保护轴承一般采用抗冲击性能极强的高速轴承。由于跌落的高速旋转的转子与径向保护轴承碰撞时能量极大,对径向保护轴承的损伤程度不可预测,承受冲击后的径向保护轴承是否处于有效状态,是否可以继续正常工作也不得而知。生产保护轴承的厂商一般也只承诺保护轴承可以承受几次转子全速跌落,在达到规定次数之后,就需要对保护轴承进行更换。由于磁悬浮分子泵用的保护轴承价格昂贵,如果转子跌落

的次数没有超过厂商承诺的可承受的失稳跌落次数,不会对径向保护轴承进行更换。如果转子跌落次数还未达到厂商承诺的可承受转子失稳跌落次数,但是径向保护轴承可能已有严重的损伤,如未进行更换,当转子再次发生失稳跌落的情况时,极有可能会得不到保护轴承的有效保护而与其他部件发生接触或者碰撞,出现转子叶轮损坏、磁轴承损坏等不良后果。因此需要一种能够在转子失稳跌落后对保护轴承损伤程度进行检测的方法。

[0007] 现有专利文献EP2365310 A1公开了一种通过冲击响应获取轴承状态信息的方法,但是其针对的是普通的滚珠轴承,其主要进行的是能够在早期检测到影响轴承长期运行安全和寿命的因素,其中进行的“极早阶段检测损伤”的过程及分析方法非常复杂。

[0008] 而径向保护轴承由于其工作方式的特殊性决定了其故障特征和滚珠轴承通常使用方法时的故障特征存在明显的差异。主要是因为磁悬浮分子泵在工作过程中,转子与径向保护轴承内圈之间有一定间隙(一般为0.1mm左右),而转子在运转时是处于高速旋转的状态的,高速旋转的转子在失稳跌落后极有可能会对径向保护轴承内圈造成很大程度的磨损。在磁悬浮分子泵应用中,保护轴承仅能提供有限次数的全速跌落保护,因此对于径向保护轴承来说,主要关心的是径向保护轴承的生命周期之中,转子的跌落对其造成的磨损是否已经对下次跌落保护的有效性造成了威胁,即再一次出现转子失稳跌落的情况时,径向保护轴承能否承受住转子的冲击,能否发挥保护效果。而上述技术方案中的普通滚珠轴承是不存在这一问题的,因此其也就不会对这一损伤进行检测。

[0009] 另一方面,上述技术方案中所采用的算法过于复杂,而如果每次在转子跌落之后都采用上述技术方案进行径向保护轴承的检测,由于其复杂的检测分析方法势必会导致检测效率的降低,影响效率。

发明内容

[0010] 本发明要解决的技术问题是现有技术中没有既简单又准确的对磁悬浮分子泵中保护轴承是否有效进行检测的方法,可能导致使用的径向保护轴承无法在转子失稳跌落时对转子进行有效保护,进而提供一种能够对磁悬浮分子泵中的径向保护轴承进行检测的装置及方法。

[0011] 为解决上述技术问题,本发明是通过以下技术方案实现的:一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,包括:

[0012] 模拟转子,由绝缘材料制备,装入磁悬浮分子泵中,其转动时能带动径向保护轴承内圈转动;

[0013] 导电部件,与所述径向保护轴承内圈连接;

[0014] 电容表包括两个接线端子,其中第一接线端子与所述导电部件连接,第二接线端子与所述泵体连接;所述电容表测量所述径向保护轴承内圈与所述泵体之间的电容值。

[0015] 所述模拟转子为圆柱体,所述模拟转子与所述径向保护轴承内圈为过渡配合。

[0016] 所述模拟转子为中空结构,且在所述模拟转子上开设一通孔;

[0017] 所述导电部件一端与第一径向保护轴承内圈或第二径向保护轴承内圈连接,另一端连接导线,所述导线穿过所述通孔进入中空结构后延伸至所述圆柱体之外。

[0018] 所述模拟转子为中空结构,且在所述模拟转子上靠近两个底面的两端分别开设第一通孔和第二通孔;

[0019] 所述导电部件为两个,其中一个导电部件一端与第一径向保护轴承内圈连接,另一端连接导线,所述导线穿过第一通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子之外;另一个导电部件一端与第二径向保护轴承内圈连接,另一端连接导线,所述导线穿过第二通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子之外。

[0020] 所述导电部件通过固定件固定于所述模拟转子的内壁上。

[0021] 本发明还提供一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测方法,包括如下步骤:

[0022] S1. 在磁悬浮分子泵出厂前,将转子从磁悬浮分子泵中抽出,插入所述模拟转子,电容表的一个接线端子通过导电部件与所述径向保护轴承内圈连接,另一个接线端子直接与泵体连接;

[0023] S2. 转动所述模拟转子,带动径向保护轴承内圈相对于外圈转动数周,记录所述电容表测量的所述径向保护轴承内圈与所述泵体之间电容值的极大值 $C_{\max}$ 或极小值 $C_{\min}$ 作为基准存储于控制器中的存储介质中;

[0024] S3. 若所述磁悬浮分子泵在使用过程中,出现转子失稳跌落的情况,则在下一次控制所述转子起浮之前,进行如下检测步骤:

[0025] S3-1. 按照所述步骤 S1 的方式将所述模拟转子、导电部件和电容表连接;

[0026] S3-2. 转动所述模拟转子,带动所述径向保护轴承内圈相对于外圈转动一周,记录所述电容表测量的所述径向保护轴承内圈与所述泵体之间电容值的极大值 $C'_{\max}$ /极小值 $C'_{\min}$;

[0027] S3-3. 获取所述极大值 $C'_{\max}$ 与所述基准极大值 $C_{\max}$ 的极大值的比例关系 $C_1 = C'_{\max} / C_{\max}$;或者所述极小值 $C'_{\min}$ 与所述基准极小值 $C_{\min}$ 的极小值的比例关系 $C_2 = C'_{\min} / C_{\min}$;若所述极大值的比例关系 C_1 或所述极小值的比例关系 C_2 超出阈值,则判定所述径向保护轴承失效;否则所述径向保护轴承有效。

[0028] 所述步骤 S3-2 中,所述阈值为 1.4。

[0029] 所述步骤 S3-1 之前,还包括如下步骤:

[0030] S301:记录所述径向保护轴承的可承受失稳跌落次数;

[0031] S302:记录磁悬浮分子泵运行过程中所述转子失稳跌落的次数;

[0032] S303:比较所述转子失稳跌落的次数是否小于可承受失稳跌落次数,若所述转子失稳跌落的次数小于所述的可承受失稳跌落次数则进入所述步骤 S3-1;否则直接判定所述径向保护轴承失效。

[0033] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

[0034] (1) 本发明涉及一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置及方法,采用本发明提出检测装置及方法,只需要采用结构简单的检测设备而且具有准确的检测结果,采用较低的成本可以有效的避免由于径向保护轴承失效引起的恶性事故及相关经济损失。

[0035] (2) 本发明涉及一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置及方法,若转子失稳跌落的次数在厂商给出的可承受失稳跌落次数之内则在转子下一次起浮之前进行检测,如果转子失稳跌落的次数已经达到径向保护轴承可承受失稳跌落的次数,则可以直接判定径向保护轴承失效,需要对径向保护轴承进行更换,既可以避免错误更换保护轴承带来的成本增加,也可以避免不及时更换保护轴承引发的恶性事故。

附图说明

[0036] 为了使本发明的内容更容易被清楚的理解,下面结合附图,对本发明作进一步详细的说明,其中,

[0037] 图 1 是本发明所述磁悬浮分子泵的结构示意图;

[0038] 图 2 是本发明所述一个实施例的模拟转子的结构示意图;

[0039] 图 3 是本发明所述另一实施例的模拟转子的结构示意图;

[0040] 图 4 是本发明所述径向保护轴承检测方法的流程图。

[0041] 图中附图标记表示为:1- 叶轮,2- 控制器,3- 泵体,4- 第一径向保护轴承,5- 第一径向传感器,6- 第一径向磁轴承,7- 转子轴,8- 电机,9- 第二径向磁轴承,10- 第二径向传感器,11- 第二径向保护轴承,12- 轴向保护轴承,13- 第一轴向磁轴承,14- 推力盘,15- 第二轴向磁轴承,16- 轴向传感器,17- 接线端子,18- 位移检测装置,19- 转速检测装置,20- 模拟转子,21- 保护轴承内圈,22- 导电部件,23- 固定件。

具体实施方式

[0042] 实施例一

[0043] 本实施例提供一种磁悬浮分子泵径向保护轴承检测装置,如图 2 和图 3 所示。检测装置包括由绝缘材料制备而成的模拟转子 20,将所述模拟转子 20 装入磁悬浮分子泵中,其转动时能带动径向保护轴承内圈 21 转动,所述径向保护轴承内圈即第一径向保护轴承 4 和第二径向保护轴承 11 的内圈;所述检测装置还包括与所述径向保护轴承内圈 21 连接的导电部件 22;所述检测装置还包括电容表,其两个接线端子中的第一接线端子与所述导电部件 22 连接,第二接线端子与所述泵体 3 连接;显然所述电容表的第一接线端子与所述径向保护轴承内圈之间通过所述导电部件 22 连接,因此所述电容表能够测量所述径向保护轴承内圈 21 与所述泵体 3 之间的电容值。

[0044] 如图 2 所示,本实施例中的所述模拟转子 20 为圆柱体,所述模拟转子与所述径向保护轴承内圈 21 为过渡配合。所述模拟转子 20 为中空结构,且在所述模拟转子 20 上靠近两个底面的两端分别开设第一通孔和第二通孔;所述导电部件 22 为两个,其中一个导电部件一端与第一径向保护轴承 4 内圈连接,另一端连接导线,导线穿过第一通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子 20 之外;另一个导电部件一端与第二径向保护轴承 11 内圈连接,另一端连接导线,导线穿过第二通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子之外。作为优选的实施方式,所述导电部件 22 通过固定件 23 固定于所述模拟转子的内壁上。其中所述固定件 23 可以选择铆钉、螺钉等。而本实施例中的所述模拟转子 20 设置为中空结构也是为了保证将导线引至所述模拟转子 20 之外与所述电容表相连时提供一通路。

[0045] 本实施例还提供利用上述装置进行磁悬浮分子泵径向保护轴承检测方法,如图 4 所示,包括如下步骤:

[0046] S1. 在磁悬浮分子泵出厂前,将转子从磁悬浮分子泵中抽出,插入所述模拟转子,电容表的一个接线端子通过导电部件 22 与所述径向保护轴承内圈 21 连接,另一个接线端子直接与泵体 3 连接;

[0047] S2. 转动所述模拟转子 20,带动径向保护轴承内圈相对于外圈转动数周,记录所述电容表测量的所述径向保护轴承内圈与所述泵体 3 之间电容值的极大值 $C_{\max}$ 和极小值

C_{min} 作为基准存储于控制器 2 中的存储介质中 ; 由于径向保护轴承外圈与所述泵体 3 之间设置有导电的其他部件, 而径向保护轴承内圈和外圈之间的滚珠为陶瓷材质的绝缘体, 因此当利用所述电容表测量所述径向保护轴承内圈和所述泵体 3 之间的电容值时, 即测量了所述径向保护轴承内圈和外圈之间的电容值 ;

[0048] 而作为本领域技术人员所公知的, 电容值的计算公式为 : $C = \epsilon S / 4 \pi k d$, 其中 ϵ 为相对介电常数, S 为两极板的正对面积 ; k 为静电力常量 ; d 为两极板间的距离 ; 根据上述公式可以得出, 径向保护轴承内圈和外圈之间的电容值的大小与正对面积和距离有关, 而通常正对面积是不会发生改变的, 当转子失稳跌落后主要会影响到保护轴承内圈和外圈之间的距离 d 。一旦失稳跌落的转子给径向保护轴承内圈或者径向保护轴承的滚珠带来较大损伤, 例如滚珠磨损或者滚道磨损, 会直接导致径向保护轴承内圈与外圈之间的距离发生变化, 径向保护轴承内外圈之间的电容波动会变大, 通过检测径向保护轴承内外圈之间电容波动即可确定径向保护轴承工作状态是否正常。

[0049] S3. 若所述磁悬浮分子泵在使用过程中, 出现转子失稳跌落的情况, 则在下一次控制所述转子起浮之前, 进行如下检测步骤 :

[0050] S3-1. 按照所述步骤 S1 的方式将所述模拟转子 20、导电部件 22 和电容表连接 ; 对于图 2 中所述的模拟转子 20, 其包括两个所述导电部件 22, 在安装时可以将一端的所述导电部件 22 先拆下, 将模拟转子装入磁悬浮分子泵内之后, 在从另一端将所述导电部件 22 安装上, 在安装完成后两个所述导电部件 22 恰好与所述第一径向保护轴承内圈和所述第二径向保护轴承内圈相接触 ; 如图 2 所示, 所述导电部件 22 的另一端均连接有导线, 两端的导线分别穿过所述第一通孔和所述第二通孔后进入中空结构延伸至所述模拟转子之外 ; 采用电容表一个接线端子与所述泵体 3 连接, 另一个接线端子分别接不同的导线时可以实现测量第一径向保护轴承内圈与外圈之间的电容值或者第二径向保护轴承内圈与外圈之间的电容值 ;

[0051] S3-2. 转动所述模拟转子, 带动所述径向保护轴承内圈相对于外圈转动一周, 记录所述电容表测量的所述径向保护轴承内圈与所述泵体 3 之间电容值的极大值 C'_{max} / 极小值 C'_{min} ;

[0052] S3-3. 获取所述极大值 C'_{max} 与所述基准极大值 C_{max} 的极大值的比例关系 $C_1 = C'_{max} / C_{max}$; 或者所述极小值 C'_{min} 与所述基准极小值 C_{min} 的极小值的比例关系 $C_2 = C'_{min} / C_{min}$; 若所述极大值的比例关系 C_1 或所述极小值的比例关系 C_2 超出阈值, 则判定所述径向保护轴承失效 ; 否则所述径向保护轴承有效。

[0053] 在实际操作过程中, 选择所述极大值的比例关系或者极小值的比例关系作为检测的基础都能够获得准确的结果。而所述阈值的选择可以根据试验来选择, 作为优选的实施方式, 在本实施例中选择所述阈值为 1.4。

[0054] 另外, 由于每一磁悬浮分子泵在出厂前, 厂家都会给出所述径向保护轴承的可承受失稳跌落次数, 因此本实施例中的检测方法中, 所述步骤 S3-1 之前还包括如下步骤 :

[0055] S301 : 记录所述径向保护轴承的可承受失稳跌落次数 ;

[0056] S302 : 记录磁悬浮分子泵运行过程中所述转子失稳跌落的次数 ;

[0057] S303 : 比较所述转子失稳跌落的次数是否小于可承受失稳跌落次数, 若所述转子

失稳跌落的次数小于所述的可承受失稳跌落次数则进入所述步骤 S3 ; 否则直接判定所述径向保护轴承失效。

[0058] 即当转子失稳跌落的次数已经超过所述径向保护轴承可承受的范围了, 便可以直接宣告所述径向保护轴承失效从而进行更换了。

[0059] 实施例二

[0060] 本实施例与实施例一相比, 区别在于所述模拟转子 20 只能够测量第一径向保护轴承或者第二径向保护轴承的内圈与外圈之间的电容值, 因此本实施例中的所述模拟转子只需要一端开设一通孔, 如图 3 所示。所述导电部件 22 一端与第一径向保护轴承内圈或第二径向保护轴承内圈连接, 另一端连接导线, 导线穿过所述通孔进入中空结构后延伸至所述模拟转子 20 之外。

[0061] 采用本实施例中提供的所述检测装置, 其结构比实施例一中的检测装置简单一些, 只是实施例一中的检测装置可以在不拆卸所述模拟转子 20 的情况下检测两个径向保护轴承内圈与外圈之间的电容值 ; 而本实施例中所述模拟转子 20, 每次只能够测量某一径向保护轴承内圈与外圈之间的电容值。

[0062] 显然, 上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例, 而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说, 在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

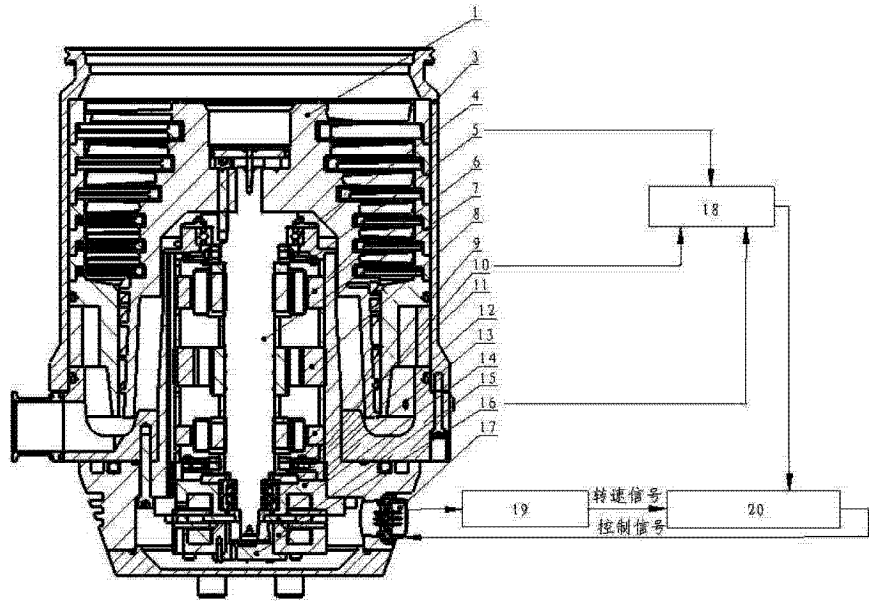


图 1

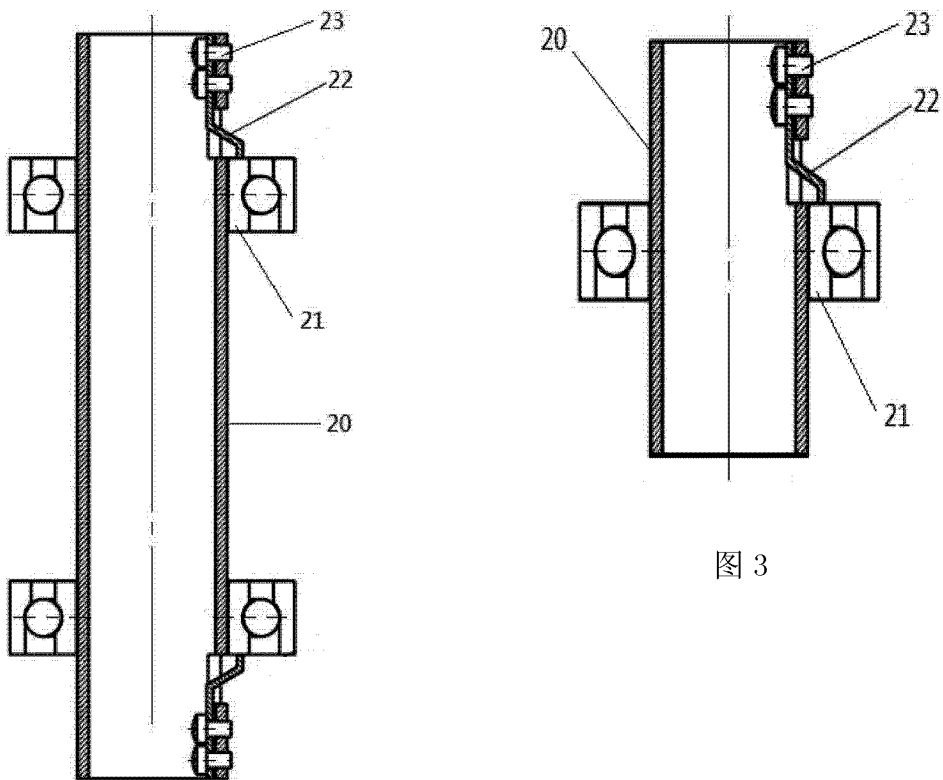


图 2

图 3

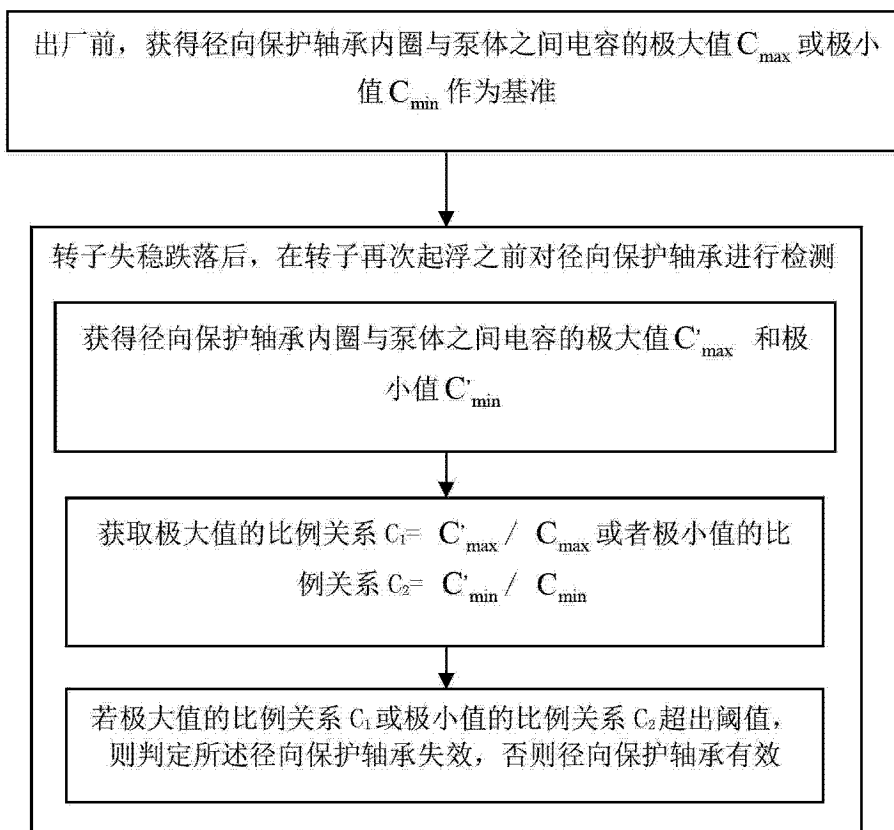


图 4