



(21) 申请号 202280058475.9

(22) 申请日 2022.07.19

(30) 优先权数据

102021122476.4 2021.08.31 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.02.27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2022/070217 2022.07.19

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/030743 DE 2023.03.09

(71) 申请人 伊格尔博格曼德国有限公司

地址 德国沃尔夫拉茨豪森

(72) 发明人 F·多泽 A·费思尔 D·克鲁施

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

专利代理师 张会华 岳红杰

(51) Int.Cl.

F16J 15/34 (2006.01)

G01M 13/005 (2006.01)

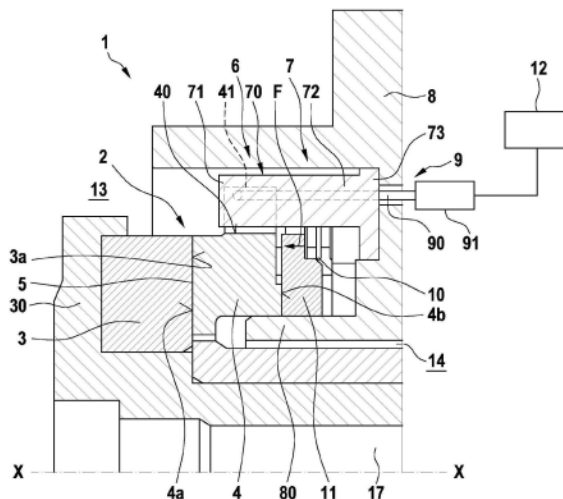
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

具有扭矩测量装置的滑环密封组件以及用于此的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种滑环密封组件,包括:具有旋转滑环(3)和静止滑环(4)的滑环密封件(2),旋转滑环和静止滑环在它们的滑动面(3a、4a)之间限定有密封间隙(5);和扭矩测量装置(6),该扭矩测量装置被设定为检测作用在静止滑环(4)处的扭矩,其中扭矩测量装置(6)包括测量单元(7)和传感器(9),其中测量单元(7)以脚部(72)固定在壳体(8)处并且具有自由端部(71),该自由端部在被构造在静止滑环(4)的外周中的槽(40)中凸出,并且其中传感器(9)被设定为检测测量单元(7)在槽(40)中的位置变化。



1. 一种滑环密封组件,包括:
 - 具有旋转滑环(3)和静止滑环(4)的滑环密封件(2),所述旋转滑环和静止滑环在它们的滑动面(3a、4a)之间限定有密封间隙(5),和
 - 扭矩测量装置(6),所述扭矩测量装置被设定为检测施加在所述静止滑环(4)处的扭矩,
 - 其中所述扭矩测量装置(6)包括测量单元(7)和传感器(9),其中所述测量单元(7)以脚部(72)固定在壳体(8)处并且具有自由端部(71),所述自由端部在被构造在所述静止滑环(4)的外周中的槽(40)中凸出,并且
 - 其中所述传感器(9)被设定为检测所述测量单元(7)在所述槽(40)中的位置变化。
2. 根据权利要求1所述的滑环密封组件,其中所述测量单元(7)具有在一侧被固定的扁杆(70)。
3. 根据前述权利要求中任一项所述的滑环密封组件,其中在所述测量单元(7)的所述自由端部(71)处在指向所述槽(40)的槽壁(40a)的每一侧处构造有凸出区域(74)。
4. 根据前述权利要求中任一项所述的滑环密封组件,其中所述测量单元(7)的所述脚部(72)具有比所述自由端部(71)大的厚度。
5. 根据前述权利要求中任一项所述的滑环密封组件,其中所述传感器(9)是光学传感器。
6. 根据权利要求5所述的滑环密封组件,其中在所述测量单元(7)处构造有用于所述光学传感器的反射面(75)。
7. 根据权利要求1至4中任一项所述的滑环密封组件,其中所述传感器(9)包括布置在所述测量单元(7)处的应变仪(92)。
8. 根据权利要求1至4中任一项所述的滑环密封组件,其中所述传感器(9)包括压电传感器(93),所述压电传感器在所述槽(40)中被布置在所述槽壁(40a)处。
9. 根据前述权利要求中任一项所述的滑环密封组件,
 - 其中所述槽(40)在所述滑环密封组件(1)的轴向方向(X-X)上延伸,和/或
 - 其中所述静止滑环(4)借助预紧元件(10)在轴向方向(X-X)上被预紧。
10. 根据前述权利要求中任一项所述的滑环密封组件,还包括控制装置(12),所述控制装置被设定为基于在所述静止滑环(4)处检测到的扭矩来推断所述滑环密封件(2)的所述滑动面(3a、4a)的损耗。
11. 根据权利要求10所述的滑环密封组件,其中所述控制装置(12)还被设定为,当检测到的扭矩值大于阈值时,基于检测到的所述扭矩值与所述阈值的比较来确定所述滑动面(3a、4a)的损耗。
12. 根据权利要求10或11所述的滑环密封组件,其中所述控制装置(12)还被设定为使所述滑环密封组件(1)的运行使得在所述旋转滑环(3)和所述静止滑环(4)之间的所述滑动面(3a、4a)处发生接触;并且进一步被设定为检测在所述滑动面(3a、4a)接触时产生的接触扭矩并基于所述接触扭矩来推断所述滑动面的损耗。
13. 一种用于检查滑环密封组件的滑动面(3a、4a)的损耗的方法,所述滑环密封组件包括:
 - 具有旋转滑环(3)和静止滑环(4)的滑环密封件(2),所述旋转滑环和静止滑环在它们

的滑动面 (3a、4a) 之间限定有密封间隙 (5), 和

- 扭矩测量装置 (6), 所述扭矩测量装置被设定为检测施加在所述静止滑环 (4) 处的扭矩,

- 其中所述扭矩测量装置 (6) 包括测量单元 (7) 和传感器 (9), 其中所述测量单元 (7) 以脚部 (72) 固定在壳体 (8) 处并且具有自由端部 (71), 所述自由端部在被构造在所述静止滑环 (4) 的外周中的槽 (40) 中凸出, 以及

- 其中所述传感器 (9) 被设定为检测所述测量单元 (7) 在所述槽 (40) 中的位置变化, 所述方法包括以下步骤:

- 运行所述滑环密封组件,

- 检测作用在所述静止滑环 (4) 上的扭矩, 以及

- 将检测到的所述扭矩与所述扭矩的存储的阈值进行比较,

- 其中, 如果所述扭矩大于所述扭矩的所述阈值, 则确定存在所述滑动面 (3a、4a) 的过度损耗。

14. 根据权利要求13所述的方法, 包括以下步骤:

- 以使得所述旋转滑环 (3) 和所述静止滑环 (4) 的所述滑动面 (3a、4a) 进行接触的转速运行所述滑环密封组件;

- 检测在所述滑动面接触时在所述静止滑环 (4) 上产生的接触扭矩, 以及

- 将所述接触扭矩与所述接触扭矩的存储的阈值进行比较,

- 其中如果所述接触扭矩大于所述接触扭矩的所述阈值, 则确定存在所述滑动面 (3a、4a) 的过度损耗。

15. 根据权利要求13或14所述的方法, 其中从所述滑环密封件 (2) 的静止状态开始检测所述滑动面的起动扭矩并且与所述起动扭矩的阈值进行比较, 当所述起动扭矩大于所述起动扭矩的所述阈值时, 确定存在所述滑动面 (3a、4a) 的过度损耗。

具有扭矩测量装置的滑环密封组件以及用于此的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有扭矩测量装置的滑环密封组件以及一种用于检查滑环密封组件的滑动面的损耗的方法。

背景技术

[0002] 从现有技术的不同的设计方案中已知有滑环密封组件。在滑环密封组件的情况下,问题的关键在于滑环的滑动面的损耗状态的确定。虽然滑环密封件在正常运行时通常是非接触密封件,其中在静止滑环和旋转滑环的滑动面之间存在气体垫或液体垫,但是在运行时、例如在开动或关停机器时或者从启动机器的时刻直至抬起 (Abheben) 滑动面时也会出现滑环之间发生接触的情况。在运行时还可能会出现在滑环密封件的轴向方向上作用的压力波动,该压力波动在滑动面之间建立接触。然而,这种接触可能会使滑动面损坏并且需要更换滑环。已知的是,根据密封间隙上的泄漏来确定例如滑动面的损耗。然而还希望有替选的可能性方案来确定滑动面的状态。

发明内容

[0003] 因此,本发明的目的是提供一种滑环密封组件以及一种用于检查滑动面的损耗状态的方法,其能够以简单的构造和简单的低成本的可制造性快速且可靠地确定滑动面的损耗。

[0004] 该目的通过具有以下技术方案的特征的滑环密封组件和具有以下技术方案的特征的方法得以实现。技术方案分别示出了本发明的优选的改进方案。

[0005] 与此相应地,根据本发明的具有以下技术方案的特征的滑环密封组件具有下述优点,即可以在滑环密封件的旋转滑环和/或静止滑环的滑动面处进行可替换的且容易实施的损耗识别。尤其地,不仅在试验台上进行测试运行时而且在用于在轴等处进行密封的滑环密封件的已安装的状态下对施加在静止滑环处的扭矩直接进行扭矩测量。根据本发明,这一点通过具有滑环密封件的滑环密封组件得以实现,该滑环密封件具有旋转滑环和静止滑环,该旋转滑环和静止滑环在它们的滑动面之间限定有密封间隙。还设置有扭矩测量装置,该扭矩测量装置被设定为检测施加在静止滑环处的扭矩。扭矩测量装置在此包括测量单元和传感器。测量单元以脚部固定在滑环密封件的壳体处,并且以自由端部布置在被构造在静止滑环的外周中的槽中。传感器被设定为检测测量单元在槽中的位置变化。测量单元的位置变化在此是被施用在静止滑环上的扭矩的量度。在静止滑环处检测到的扭矩值在此给出了关于旋转滑环和静止滑环的滑动面的损耗状态的信息。因此能够对滑动面的状态进行简单且可靠地检测,并且在必要的情况下可以快速地更换滑环。

[0006] 尤其地,根据本发明的扭矩测量装置即使在静止滑环进行轴向移动时也能够实现可靠的扭矩测量,该轴向移动在运行时可能由于压力波动等而发生。

[0007] 因此,在可轴向移动的静止滑环的情况下也能够实现可靠的扭矩检测。

[0008] 测量单元优选地被构造为扁杆。因此,测量单元包括扁的、被构造为杆形的、在一

侧被固定的梁,其长度大于其截面尺寸。扁杆的截面优选为矩形。由于扁杆的自由端部被置于静止滑环中的槽中,并且扁杆的脚部以位置不变的方式被固定在壳体处,因此当扭矩被导入到静止滑环上时,静止滑环沿周向方向移动,使得扁杆的自由端部在与槽壁接触时经历位置变化。这种位置变化是被导入静止滑环中的扭矩的量度,然后基于此可以推断出滑环的滑动面的损耗。

[0009] 优选地,在扁杆的每个扁平侧处在自由端部处分别构造有凸出区域、尤其是凸轮形区域。于是,扁杆优选地在此在槽中具有宽度仅最低程度地小于槽宽,从而当扭矩被导入静止滑环中时,扁杆的自由端部立刻发生位置变化。由此使得小的扭矩也能够被可靠地检测。

[0010] 进一步优选地,测量单元的脚部具有比自由端部大的厚度。优选地,测量单元的脚部处的厚度是自由端部处的厚度的两倍。

[0011] 特别优选地,扭矩测量装置的传感器是光学传感器。光学传感器在此检测测量单元的自由端部的基于导入静止滑环中的扭矩而产生的位置变化。优选地,光学传感器是反射型的,其检测从测量单元的自由端部反射的光束、例如激光束。备选地,光学传感器是光学FBG传感器(Fiber Bragg Gitter)。光学传感器的优点尤其在于,对于在测量单元处的测量不需要电流,从而其优选地被用于有爆炸风险等类似风险的密封任务。如果测量单元被构造为扁杆,则用于光学传感器的特殊的反射面优选地被构造在扁杆的至少一个扁平侧处。由此尤其可以提高测量精度。

[0012] 备选地,扭矩测量装置的传感器是应变仪(DMS)。DMS传感器可以以非常低成本的方式被提供并且以非常鲁棒的方式构成。例如,可以在有大量灰尘颗粒等的密封任务中采用DMS传感器,在这种任务中光学测量方法的效果较差。

[0013] 进一步备选地,扭矩测量装置的传感器是压电元件。压电元件同样是非常鲁棒的并且可以以相对较低的成本被提供。由于在压电传感器中也有电流流动,因此其应用领域通常局限于不发生短路的气体介质。

[0014] 当静止滑环中的槽在滑环密封组件的轴向方向上延伸时,可以实现特别是更简单且更低成本的结构。因此,槽平行于待密封的轴的中心轴线。

[0015] 进一步优选地,静止滑环借助预紧装置在轴向方向上被预紧。优选地,在这种情况下在预紧装置和静止滑环之间设置有压环。特别优选地,预紧装置是沿着滑环密封件的周向布置的多个单独的弹簧元件。

[0016] 此外,滑环密封组件优选地包括控制装置,该控制装置被设定为基于在静止滑环处检测到的扭矩来推断滑环密封件的滑动面的损耗。控制装置尤其优选地被设定为根据扭矩的程度来确定滑环的滑动面的损耗。在这种情况下,例如可以将扭矩的阈值储存在数据库中,并且可以将阈值与检测到的扭矩值进行比较。如果超过阈值,则这指示了滑动面过度损耗并且控制单元可以例如发出更换信号或更换通知等。

[0017] 此外,控制装置被设定为使滑环密封组件的运行使得在旋转滑环和静止滑环的滑动面处发生接触,并且扭矩测量装置检测在滑动面接触时产生的接触扭矩,并且基于接触扭矩来推断滑动面的损耗。在滑动面接触时确定扭矩在滑动面的损耗的方面特别有益。当在密封间隙中还没有或没有足够的用于抬起滑环的滑动面的介质时,这一点例如可以在待密封的轴的低转速的情况下发生。

[0018] 进一步优选地,控制单元被设定为从滑环密封件的静止状态检测滑环密封件的起动扭矩。在滑环密封件的静止状态下,旋转滑环和静止滑环的滑动面接触。当旋转滑环开始相对于静止滑环扭转时就得达到了起动扭矩。这一点可以利用根据本发明的扭矩测量装置可靠且容易地来确定。在这种情况下还适用的是,滑环密封组件的起动扭矩越大,则滑环的滑动面处发生的损耗就越多。于是在超过起动扭矩的阈值的情况下同样可以推断出过度损耗和滑环需要更换。

[0019] 此外,本发明涉及一种用于检查如上所述的根据本发明的滑环密封组件的滑动面的损耗的方法。该方法在此包括检测作用在静止滑环上的扭矩并将检测到的扭矩与扭矩的存储的阈值进行比较的步骤。如果扭矩大于扭矩的阈值,则确定存在滑动面的过度损耗。在此,根据本发明的方法能够实现上述优点。

[0020] 进一步优选地,该方法在此包括以使得旋转滑环和静止滑环的滑动面进行接触的转速运行滑环密封组件的步骤。在此,检测在滑动面接触时在静止滑环上产生的接触扭矩并且将检测到的接触扭矩与接触扭矩的存储的阈值进行比较。如果接触扭矩大于阈值,则确定存在滑动面的过度损耗。然后优选地可以发出信号或通知并且进行滑环的更换。

[0021] 特别优选地,根据本发明的方法从滑环密封件的静止状态检测作为接触扭矩的接触扭矩。如上所述,起动扭矩在此是旋转滑环相对于静止滑环开始进行相对旋转的扭矩值。

[0022] 优选地,在滑环密封件运行期间也连续地检测静止滑环处的扭矩。虽然在滑环密封件正常运行时在滑环之间的滑动面处没有直接接触,但在运行时始终有一定的扭矩被施用到静止滑环上,该扭矩也随着滑动面的损耗的增加而增大。因此,在运行时检测到的扭矩同样是滑环的滑动面的损耗的指标,并且与存储的阈值进行的比较在超过阈值时可以给出需要更换滑环的指示。

附图说明

[0023] 以下将参考附图对本发明的实施例进行详细描述。在图中:

[0024] 图1是根据本发明的第一实施例的滑环密封组件的示意性剖视图,

[0025] 图2是图1的滑环密封组件的示意性局部俯视图,

[0026] 图3是图1的滑环密封组件的局部立体图,

[0027] 图4是图1的滑环密封组件的局部侧视图,

[0028] 图5是根据本发明的第二实施例的滑环密封组件的示意性剖视图,以及

[0029] 图6是根据本发明的第三实施例的滑环密封组件的示意性剖视图。

具体实施方式

[0030] 以下将参考图1至图4详细地描述滑环密封组件1以及用于检查滑环密封组件的滑动面的损耗的方法。

[0031] 如图1所示,滑环密封组件1包括具有旋转滑环3和静止滑环4的滑环密封件2。在旋转滑环3的滑动面3a和静止滑环4的滑动面4a之间限定有密封间隙5。在运行时,滑环的滑动面3a、4a之间通常不发生接触。

[0032] 滑环密封组件1在此在轴17处将产品区域13相对于大气区域14密封(abdichten)。

[0033] 旋转滑环3借助滑环支承部30与轴17连接,使得轴的旋转经由滑环支承部30传递

到旋转滑环3上。

[0034] 静止滑环4以不可旋转的方式布置在壳体8处。从图1中可以看出,壳体8具有沿滑环密封组件1的轴向方向X-X延伸的套筒区域80。静止滑环4在此可在套筒区域80上沿轴向方向X-X移动。在静止滑环4的后侧4b处设置有压环11,该压环借助预紧元件10、尤其是多个弹簧元件沿轴向方向X-X被预紧到旋转滑环3上。

[0035] 此外,滑环密封组件1包括扭矩测量装置6。从图1至图4中可以看出扭矩测量装置6的详细情况。扭矩测量装置6包括测量单元7和传感器9,该传感器在本实施例中是光学传感器。传感器9在此包括光导体90和光源/接收器组件91。光源/接收器组件91将光发射到光导体90中并接收相应的反射。

[0036] 从图1和图3中可以一览地看出测量单元7的详细情况。测量单元7包括扁杆70,该扁杆在一侧被紧固在壳体8处。在这种情况下,扁杆70在一侧借助利用螺栓15、16被固定在壳体8处的基板73被紧固。扁杆70的自由端部71突出到槽40中,该槽被构造在静止滑环4的外周处。与基板连接脚部72具有比自由端部71大的厚度(参见图3)。

[0037] 尤其从图1中可以看出,槽40沿滑环密封组件1的轴向方向X-X延伸。从图1中还可以看出,自由端部71在此沿轴向方向X-X从基板73起伸展穿过整个槽40并且具有沿轴向方向超过槽40的小的突出。

[0038] 如图1中虚线所示,光导体90也被引导至槽40,其中光导体90具有90°的弧形部(参见图2)。在这种情况下,在扁杆70的自由端部71处的扁平侧71a处设置有反射面75(参见图2)。由此,由光源/接收组件91发射的光束(箭头A)被反射并送回该处。

[0039] 在扁杆70处还设置有朝向两侧凸出的区域74(尤其参见图2和图3),其同样被布置在槽40中。凸出区域74在此被设计成,使得在朝向槽40的壁的两侧都存在小的间隙18(图2)。

[0040] 由于槽40以直的并且平行于轴向方向X-X的方式构造在静止滑环4中,因此静止滑环4能够实施轴向移动。例如,在图1中的轴17向左移动的情况下(这也引起旋转滑环3在轴向方向上的移动),通过由预紧元件10施予在压环11上的预紧力F能够实现再调整(Nachsetzen)。如从图3中可以看出,固定在壳体8处的扭矩测量装置6在此虽然保持位置不变,但扭矩测量装置6的测量记录区域仍处于静止滑环4的槽40中。

[0041] 在此,扭矩检测装置6的功能和测量方法如下所述。当滑环密封组件1正常运行时,在密封间隙5中存在介质并且在滑环3、4的滑动面3a、4a之间没有接触,则扭矩被施用到静止滑环4上(这在图4中由箭头B示意性示出),槽40的槽壁40a与测量单元7、尤其是凸出区域74中的一者接触。因此,在槽壁40a与凸出区域74之间不再存在间隙18。由此,扁杆70随着测量单元7的相对应的位置变化尤其在自由端部71处变形,使得连续地或间隔地发射光束A的传感器9能够检测光束的反射的变化。反射变化可以随后通过传感器9获知。传感器9与控制装置12连接,该控制装置对传感器信号进行评估。可以从传感器信号的变化推断出施用到静止滑环4上的扭矩。

[0042] 控制装置12在此还被设定为,将由此查明的扭矩值与扭矩的阈值进行比较。如果查明的扭矩值高于阈值,则这明确表明滑动面3a、4a处有损耗,因为从旋转滑环3到静止滑环4的扭矩传递在未损耗的滑动面3a、4a的情况下远低于在有损耗的、例如具有沟槽或波纹等的滑动面的情况。

[0043] 在旋转滑环和静止滑环在滑动面3a、4a处接触的情况下,例如在轴17的静止状态或转速非常低的情况下(其中在滑动面3a、4a处仍然存在接触),也可以进行扭矩测量。在损耗的滑环的情况下,滑动面之间的接触比新的滑动面持续得更久。因此,从旋转滑环3传递到静止滑环4的扭矩明显大于不具有损耗和波纹的新的滑环。尤其地,还可以从轴17的静止状态检测起动扭矩,该起动扭矩在损耗的滑动面的情况下同样明显大于在没有损耗或仅有很小损耗的滑动面的情况。

[0044] 尤其从图1和图4中还可以看出,静止滑环4具有径向向外指向的、环绕的凸缘区域41,在该区域中形成有槽40。凸缘区域41在此不具有滑动面(同样参见图4)。

[0045] 因此在从旋转滑环3到静止滑环4的扭矩传递时形成的力沿周向方向作用在扁杆70上,使得该扁杆受作用弯曲并变形。这种变形可以通过光学的路程测量来检测。控制装置12在此例如被设定为,基于测量单元7的已知的材料参数来确定在测量单元7上的力,并且然后基于已知的滑环几何形状来计算施加在静止滑环4处的扭矩。

[0046] 由于槽40的轴向布置,在此可以以独立于静止滑环4的轴向位置的方式始终检测施加在静止滑环4处的扭矩。测量单元7优选地由不锈钢制成。

[0047] 图5示出了根据本发明的第二实施例的滑环密封组件1。相同的或功能相同的部件标示有与第一实施例中相同的附图标记。第二实施例基本上对应于第一实施例,其中代替光学传感器在第二实施例中使用应变仪92作为传感器9。如图5所示,应变仪92被布置在扁杆70的脚部72的区域处。当扭矩被传递到静止滑环4上时,如在第一实施例中那样将力导入到测量单元7的扁杆70的自由端部71上,使得应变仪92的电阻根据扁杆70弯曲的大小而变化。这种变化可以借助控制装置12来检测,并且由此可以查明基于导入静止滑环4中的扭矩而作用在测量单元7上的力。在其他方面该实施例对应于前述实施例,因此可以参考对其给出的描述。替选地,在应变仪92的位置处还可以使用光学FBG传感器。

[0048] 图6示出了根据本发明的第三实施例的滑环密封组件1。相同的或功能相同的部件标示有与前述实施例中相同的附图标记。在第三实施例中,压电传感器93作为传感器9被布置在槽40的槽壁40a处。当扭矩从旋转滑环3传递到静止滑环4时,力传递到测量单元7上,其尤其在自由端部71的区域中弯曲。由此可以将力施用到压电传感器93上,其电阻由此变化,这可以由控制装置12来检测。控制装置12然后可以基于压电传感器93的变化的电阻来确定施用于其上的力并因此确定扭矩。为了能够以与扭转方向无关的方式实现对扭矩的检测,优选地在槽40的两个槽壁处布置有压电传感器93。在其他方面该实施例对应于前述实施例,因此可以参考对其给出的描述。

[0049] 在描述的所有实施例中尤其是在滑环的滑动面之间有接触的情况下施用根据本发明的用于检查滑动面3a、4a的损耗状态的方法。因此可以在滑动面有接触的情况下通过实施例中描述的扭矩检测装置6的各种传感器9来检测接触扭矩。然后将该接触扭矩与存储在控制装置12中的阈值进行比较。一旦接触扭矩大于阈值,则控制装置12确定存在滑环的滑动面3a、4a的过度损耗。在此,例如可以随后发出指示过大的损耗并建议更换滑环的信号或通知。

[0050] 此外,通过根据本发明的方法尤其可以从轴17的静止状态检测滑动面的起动扭矩。如果起动扭矩同样大于起动扭矩的预定的阈值,则同样可以推断出滑动面的过度损耗,并由控制装置12发出相对应的指示。

[0051]	附图标记说明
[0052]	1 滑环密封组件
[0053]	2 滑环密封件
[0054]	3 旋转滑环
[0055]	3a 旋转滑环的滑动面
[0056]	4 静止滑环
[0057]	4a 旋转滑环的滑动面
[0058]	4b 静止滑环的后侧
[0059]	5 密封间隙
[0060]	6 扭矩测量装置
[0061]	7 测量单元
[0062]	8 壳体
[0063]	9 传感器
[0064]	10 预紧元件
[0065]	11 压环
[0066]	12 控制装置
[0067]	13 产品区域
[0068]	14 大气区域
[0069]	15、16 螺栓
[0070]	17 轴
[0071]	18 槽壁与测量单元之间的间隙
[0072]	30 滑环支承部
[0073]	40 槽
[0074]	40a 槽壁
[0075]	41 凸缘区域
[0076]	70 扁杆
[0077]	71 自由端部
[0078]	71a 扁平侧
[0079]	72 扁杆的脚部
[0080]	73 基板
[0081]	74 凸出区域
[0082]	75 反射面
[0083]	80 套筒区域
[0084]	90 光导体
[0085]	91 光源/接收器组件
[0086]	92 应变仪
[0087]	93 压电传感器
[0088]	A 光束
[0089]	B 导入静止滑环中的力

[0090]	F	预紧力
[0091]	X-X	轴向方向

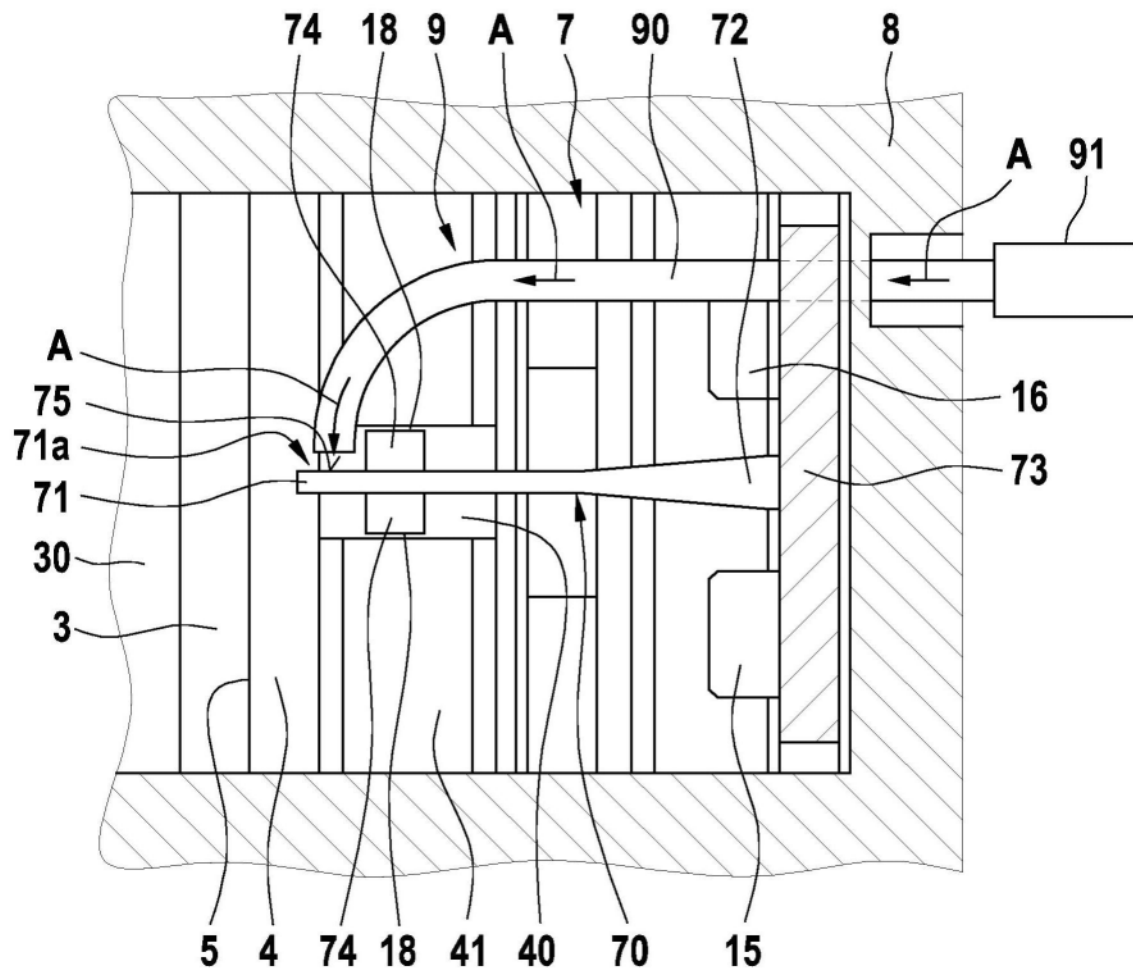


图2

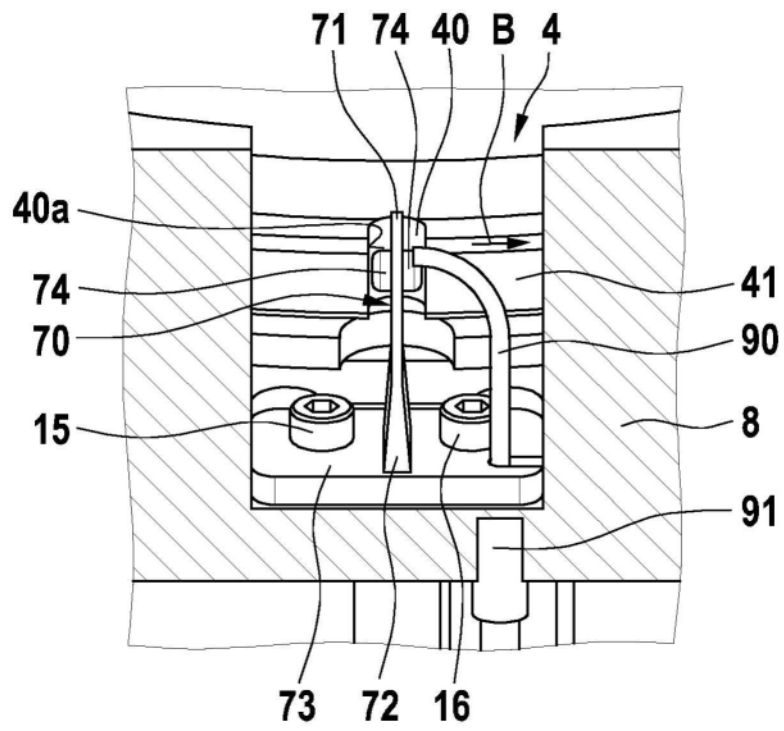


图3

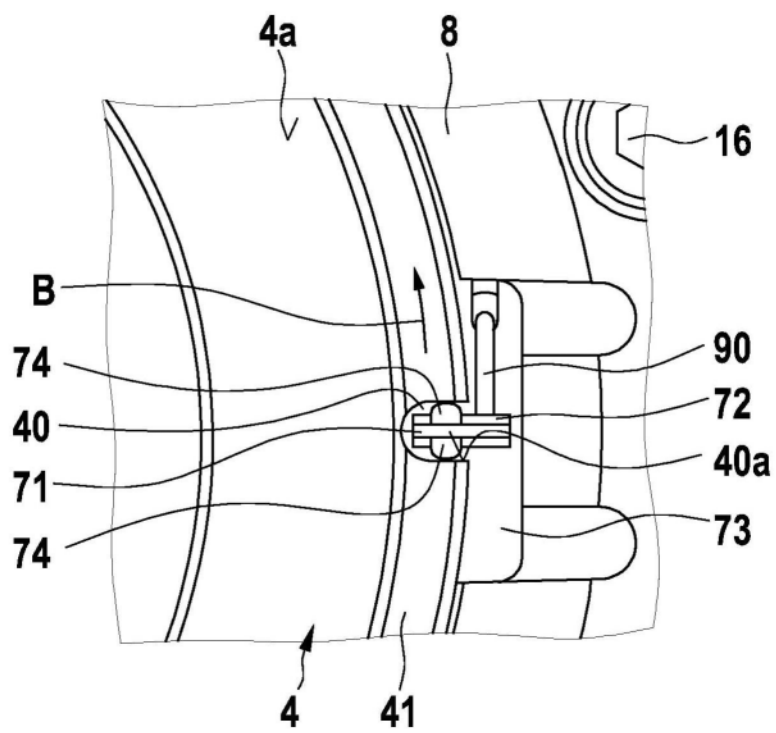


图4

