



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104600886 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 06

(21) 申请号 201510042591. 3

H02K 5/10(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 01. 27

(71) 申请人 新疆金风科技股份有限公司

地址 830026 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市  
经济技术开发区上海路 107 号

(72) 发明人 王栋 马盛骏 李延慧 刘承前  
赵祥

(74) 专利代理机构 北京金律言科知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11461

代理人 逯博 杨艳云

(51) Int. Cl.

H02K 1/18(2006. 01)

H02K 1/20(2006. 01)

H02K 1/22(2006. 01)

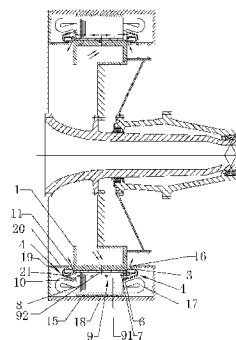
权利要求书3页 说明书16页 附图5页

(54) 发明名称

永磁直驱风力发电机、系统及其定子

(57) 摘要

本发明提供了一种永磁直驱风力发电机、系统及其定子,其中,定子包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心以及桨侧齿压板,所述桨侧齿压板设置在所述定子铁心的桨侧轴向端面上,在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述桨侧齿压板上开设有至少一个第二气孔,所述定子还包括有联通所述第一气孔和所述第二气孔的至少一个气流通道,所述气流通道穿过所述定子铁心的内部。本发明实施例通过在高空风力发电机的定转子内部使用“微正压”技术,使得电机能够自适应地干燥自身,并阻止外界恶劣气流进入电机内部,延长了永磁磁极的使用寿命,防止了电机内部器件“绝缘水平降低”,降低了电机受恶劣气流侵蚀的风险,提高了绝缘可靠性。



1. 一种永磁直驱风力发电机的定子,其特征在于,包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心以及桨侧齿压板,所述桨侧齿压板设置在所述定子铁心的桨侧轴向端面上,

在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述桨侧齿压板上开设有至少一个第二气孔,

所述定子还包括有联通所述第一气孔和所述第二气孔的至少一个气流通道,所述气流通道穿过所述定子铁心的内部。

2. 根据权利要求1所述的定子,其特征在于,在所述定子支架的外周壁上固定有冲片固定键,所述定子铁心的燕尾槽套设在所述冲片固定键上,所述气流通道穿过所述冲片固定键与所述第一气孔联通。

3. 根据权利要求2所述的定子,其特征在于,所述气流通道包括径向气流通道和轴向气流通道,所述径向气流通道穿过所述冲片固定键和所述定子铁心的内部,所述径向气流通道的一端与所述第一气孔连接,另一端与所述轴向气流通道连接,所述轴向气流通道沿轴向穿过所述定子铁心的内部与所述第二气孔联通。

4. 根据权利要求3所述的定子,其特征在于,所述第一气孔、所述第二气孔以及所述气流通道为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,多个所述第一气孔、所述第二气孔以及所述气流通道对应联通,形成多条独立的从所述定子支架的外周壁到所述桨侧齿压板的气流通路。

5. 根据权利要求1至4任一所述的定子,其特征在于,在所述桨侧齿压板上设置有环形的渐缩喷管,所述第二气孔与所述渐缩喷管的环形入口联通。

6. 根据权利要求5所述的定子,其特征在于,所述定子包括桨侧围板,与所述定子匹配的转子包括转子密封环,在将所述定子与转子组合安装后,所述渐缩喷管的环形出口对着所述桨侧围板和所述转子密封环形成的环形缝隙。

7. 根据权利要求5所述的定子,其特征在于,所述渐缩喷管的剖面呈镰刀形,包括依次联通的竖直段、倾斜段以及弯曲段,所述竖直段与所述第二气孔联通,所述竖直段的径向宽度一致且大于或等于所述第二气孔的径向宽度,所述倾斜段整体上向定子中心方向倾斜,所述弯曲段整体上呈圆弧状,其末端形成所述渐缩喷管的出口,从所述倾斜段到所述弯曲段的末端,所述径向宽度逐渐缩小。

8. 一种永磁直驱风力发电机的定子,其特征在于,包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心、桨侧齿压板以及塔侧齿压板,所述桨侧齿压板设置在所述定子铁心的桨侧轴向端面上,所述塔侧齿压板设置在所述定子铁心的塔侧轴向端面上,

在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述桨侧齿压板上开设有至少一个第二气孔,在所述塔侧齿压板上开设有至少一个第三气孔,

所述定子还包括将所述第一气孔与所述第二气孔和所述第三气孔联通的至少一个气流通道,所述气流通道穿过所述定子铁心的内部。

9. 根据权利要求8所述的定子,其特征在于,在所述定子支架的外周壁上固定有冲片固定键,所述定子铁心的燕尾槽套设在所述冲片固定键上,所述气流通道穿过所述冲片固定键与所述第一气孔联通。

10. 根据权利要求9所述的定子,其特征在于,所述气流通道包括径向气流通道和轴向

气流通道,所述径向气流通道穿过所述冲片固定键和所述定子铁心的内部,所述径向气流通道的一端与所述第一气孔连接,另一端与所述轴向气流通道连接,所述轴向气流通道沿轴向穿过所述定子铁心的内部与所述第二气孔和所述第三气孔联通。

11. 根据权利要求 10 所述的定子,其特征在于,所述第一气孔、所述第二气孔、所述第三气孔以及所述气流通道为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,多个所述第一气孔、所述第二气孔、所述第三气孔以及所述气流通道对应联通,形成多条独立的从所述定子支架的外周壁到所述桨侧齿压板和所述塔侧齿压板的气流通道。

12. 根据权利要求 8 至 11 任一所述的定子,其特征在于,在所述桨侧齿压板和所述塔侧齿压板上分别设置有环形的渐缩喷管,所述第二气孔和所述第三气孔与所述渐缩喷管的环形入口联通。

13. 根据权利要求 12 所述的定子,其特征在于,所述定子包括桨侧围板和塔侧围板,所述转子包括转子密封环和端盖密封环,在将所述定子与转子组合安装后,设置在所述桨侧齿压板上的渐缩喷管的环形出口对着桨侧围板和转子密封环形成的缝隙,设置在所述塔侧齿压板上的渐缩喷管的环形出口对着所述塔侧围板和所述端盖密封环形成的环形缝隙。

14. 根据权利要求 13 所述的定子,其特征在于,所述渐缩喷管的剖面呈镰刀形,包括依次联通的竖直段、倾斜段以及弯曲段,设置在所述桨侧齿压板和所述塔侧齿压板上所述渐缩喷管的所述竖直段分别与所述第二气孔和所述第三气孔联通,所述竖直段的径向宽度一致且大于或等于所述第二气孔和所述第三气孔的径向宽度,所述倾斜段整体上向定子中心方向倾斜,所述弯曲段整体上呈圆弧状,其末端形成所述渐缩喷管的出口,从所述倾斜段到所述弯曲段的末端,所述径向宽度逐渐缩小。

15. 一种永磁直驱风力发电机,其特征在于,包括转子以及如权利要求 1 至 14 任一所述的定子。

16. 一种永磁直驱风力发电机的定子,其特征在于,包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心以及塔侧齿压板,所述塔侧齿压板设置在所述定子铁心的塔侧轴向端面上,

在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述塔侧齿压板上开设有至少一个第三气孔,

所述定子还包括有联通所述第一气孔和所述第三气孔的至少一个气流通道,所述气流通道穿过所述定子铁心的内部。

17. 根据权利要求 16 所述的定子,其特征在于,在所述定子支架的外周壁上固定有冲片固定键,所述定子铁心的燕尾槽套设在所述冲片固定键上,所述气流通道穿过所述冲片固定键与所述第一气孔联通。

18. 根据权利要求 17 所述的定子,其特征在于,所述气流通道包括径向气流通道和轴向气流通道,所述径向气流通道穿过所述冲片固定键和所述定子铁心的内部,所述径向气流通道的一端与所述第一气孔连接,另一端与所述轴向气流通道连接,所述轴向气流通道沿轴向穿过所述定子铁心的内部与所述第三气孔联通。

19. 根据权利要求 18 所述的定子,其特征在于,所述第一气孔、所述第三气孔以及所述气流通道为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,多个所述第一气孔、所述第三气孔以及所述气流通道对应联通,形成多条独立的从所述定子支架的外周壁到所述塔侧齿压板的气流

通路。

20. 一种永磁直驱风力发电机,其特征在于,包括转子以及如权利要求 16 至 19 任一所述的定子。

21. 根据权利要求 20 所述的风力发电机,其特征在于,所述定子包括塔侧围板,所述转子包括端盖密封环,在所述塔侧围板和所述端盖密封环之间设置有塔侧密封部件,所述塔侧密封部件固定在所述塔侧围板或者所述端盖密封环的一方上,以动密封的方式密封塔侧围板和所述端盖密封环之间的环形缝隙。

22. 一种永磁直驱风力发电机系统,其特征在于,包括如权利要求 15、20 或 21 所述的风力发电机以及设置在风电机组内部的气源系统,所述气源系统与所述第一气孔连接。

23. 根据权利要求 22 所述的风力发电机系统,其特征在于,所述气源系统包括产生预定压力的气流的气源发生装置和对所述气流进行气源净化以及干燥处理的气源处理装置。

24. 根据权利要求 23 所述的风力发电机系统,其特征在于,所述气源发生装置为空气压缩机,所述气源处理装置包括空气过滤器、冷却器、油水分离器以及干燥器。

25. 根据权利要求 24 所述的风力发电机系统,其特征在于,所述气源系统通过母管和支管与所述第一气孔连接,从所述母管上引出与所述第一气孔数量相同的支管,所述支管对应连接在所述第一气孔上。

## 永磁直驱风力发电机、系统及其定子

### 技术领域

[0001] 本发明属于风电技术领域,具体涉及永磁直驱风力发电机、系统及其定子。

### 背景技术

[0002] 现有技术中开启式永磁直驱外转子风力发电机,依靠自然风冷,开启结构利于自然通风换热,助于磁极使用永磁材料防止温升超标后的磁性降低,但是发电机通常暴露在极端恶劣的环境(暴露在风、霜、雨、雪、沙尘、盐雾等)条件下。

[0003] 1、潮湿环境中电机内部水份的来源及其危害

[0004] (1) 水份的来源

[0005] 潮湿环境较正常环境来说,雨、雪更容易进入电机内部,归纳起来水份的来源主要有以下几种:

[0006] 户外运行的机舱外部的风力发电机,直接受到雨淋和雪水融化后的浸渍,少量水份通过电机旋转从环状间隙进入电机内部;潮湿天气中当发电机停止工作后,潮气进入发电机内部进而结露;长时间停运的发电机因潮气进入易受潮结露;恶劣环境中工作的风力发电机还可能遭受雨雪水浸泡等事故(排水孔堵塞)引起水份进入;发电机生产过程中未按工艺要求进行预烘或者浸漆后烘干不彻底造成的绝缘毛细孔中水份残存等等。

[0007] (2) 发电机绝缘容易受潮的原因

[0008] 该部分主要引用论文《发电机绝缘容易受潮的原因分析》进行说明(作者:亓玉福 QI Yu-fu 刊名:大电机技术年,卷(期):2009(4))。

[0009] 空冷式发电机在停运状态下绝缘容易受潮,主要表现在泄漏电流显著增加、绝缘电阻显著降低。按照规定,绝缘电阻低到一定数值,是不允许运行的,必须进行干燥处理。

[0010] 空冷式发电机绝缘容易受潮是由于它的运行状态和结构决定的。因为发电机的绝缘只能采用固体绝缘介质,嵌放在铁心槽内,不能像变压器那样浸放在绝缘油中,也不能像全封闭组合电器 GIS 一样,密封在充满 SF<sub>6</sub> 的密闭金属外壳中,发电机的绝缘只能暴露在空气中。正常运行过程中,发电机铁心、绕组产生的热量要靠流动的空气带走。当发电机产热和散热达到平衡时,发电机铁心、绕组温度保持在一定数值范围之内。发电机正常运行时,依靠自然风冷的外转子永磁直驱发电机内部也依靠从自然界侵入的空气充当冷却介质。铁心、绕组温度会比冷却介质空气的温度高,发电机停运后,铁心、绕组温度逐渐降低,由于空隙、气隙内空气热胀冷缩的作用,发电机内进入大量的空气以达到压力平衡。这时绝缘吸收空气中的水分而受潮,若在雷雨季节,雨后空气湿度更大,发电机绝缘受潮就更为严重。发电机绝缘受潮后,泄漏电流是正常值的几十倍甚至几百倍,绝缘电阻是正常值的几分之一。从数据分析,发电机绝缘受潮很严重,不经过干燥处理,是不能运行的。发电机绝缘受潮严重,是从绝缘的测试数据角度来讲的。其实,绝缘受潮初期,只是表面吸附了水分,绝缘内部还没有受潮,与绝缘受到水浸后相比较,绝缘表面的水分还是微量的,干燥起来也容易得多。

[0011] 电机的绝缘在空气湿度很大时,受潮导致绝缘电阻的降低需要很短的时间,一天

甚至几个小时。这就要求雨天必须抵制雨水进入发电机内、或雨后及时将电机内湿空气带走。规程有明文规定：绝缘电阻不合格不能保证发电机运行不出事故，万一发生事故，势必造成很大的经济损失。必须经过干燥处理合格后才能运行。

[0012] (3) 发电机内部存在水份引起的危害

[0013] 对于发电机来说，良好的绝缘是电机安全运行的前提条件，在定子绕组中无论是槽绝缘、层间绝缘、相间绝缘还是绑扎带以及电源引出线的外层，都有大量的毛细孔，很容易吸收空气中的潮气，降低自身的绝缘性能并使绝缘导热性变差，引起绝缘击穿进而损坏电机，造成人身、设备安全事故。相对湿度高易使表面凝附水膜，湿度高于95%以上时，电机内部经常凝聚水滴，使金属件易锈蚀，润滑脂受潮变质，绝缘材料有的受潮膨胀，有的发软发粘，机械和电气性能恶化，容易发生绝缘击穿和表面闪络。另外，在高湿环境下，霉菌也易滋长，而霉菌的分泌物能腐蚀金属和绝缘材料，使绝缘迅速恶化，引起短路事故。

[0014] 2、现有技术的汇总分析

[0015] (1) 现有技术中常见的干燥方式

[0016] 该部分将参照论文《发电机定子绕组绝缘受潮的现场干燥处理》（作者：林军，李云海，矫健，[中图分类号]TM311[文献标识码]B【文章编号】1004-7913(2009)04—0013—02）中的内容进行说明。

[0017] 发电机定子绕组受潮后，对于不同冷却方式、不同容量以及受潮程度不同的发电机，在进行干燥处理时所采用方法也各不相同，目前现场常用以下几种干燥方法。(a) 定子铁损干燥法。该法对大型发电机尤其是运行过程中检修的发电机实际上没有可操作性。(b) 外加电流干燥法。给转子线圈通入电流，利用铜损所产生的热量加热转子绕组。受现场容量限制，很难采用交流加热方法，因此一般采用直流电流加热。此方法需将发电机三相绕组串联，也可根据情况将分支解开再串联成一个回路。大型发电机电流比较大，一般按绕组分支加入直流。电源可采用电动盘车的电源或其它通过整流而得来的电源，小容量的发电机也可采用多台直流电焊机并联供电的方法。(c) 外加热源法。在发电机风洞内，将定子上、下部挡风板打开，在定子绕组下部布置电热板或其它红外加热设备。此方法对体积较小的发电机比较有效。(d) 三相短路干燥法。将发电机定子绕组出口处三相短路，然后使发电机组在额定转速范围内运转，通过调节励磁电流，使定子绕组电流随之上升、利用发电机自身电流所产生的热量，对绕组进行干燥。三相短路干燥需要发电机本身具备运转条件。(e) 热水循环干燥法。定子线棒水冷发电机，可利用内冷水箱内的加热装置或临时接入电加热器将内冷水箱内的冷却水加热，水温不宜高于70℃，启动内冷水泵，用热水循环干燥定子线棒的绝缘。定子线棒水冷发电机现场多采用此方法，所作用的对象为地面作业的电机。

[0018] 对于永磁直驱风力发电机为了干燥绝缘系统已经试用以上方法中的方案(b)。

[0019] (2) 其他干燥技术

[0020] 论文《汽轮机停机后用热空气除湿干燥保养》

[0021] 作者：陈行庚、曹祖庆；作者单位：东南大学江苏南京；母体文献：第四届全国火力发电技术学术年会论文集（上册）。

[0022] 会议名称：第四届全国火力发电技术学术年会，会议时间：2003年11月01日。

[0023] 汽轮机停机后利用未饱和的湿空气流过通流部分，吸收残留的水分，使机内干燥，防止汽轮机停机后发生锈蚀。为提高湿空气的吸湿能力，先将湿空气压缩后再通过加热器

进行加热,然后再通入汽轮机吸收水分后排出。”排气的含湿量已降至预定指标,则表明机内已经干燥,可防止产生锈蚀。

[0024] (3) 论文《水毁电机的快速干燥方法》

[0025] 作者:沈兆虎,刊名:中国农村水利水电年,卷(期):1999(1)。

[0026] 受洪水浸泡后的电机需干燥,为缩短干燥时间,节约干燥经费,研制了一种远红外温控烘干机。这种烘干机简单、高效、实用、取材容易、成本低。

[0027] 3、开启式机舱外风力发电机密封方案技术路线探索

[0028] 密封可分为相对静止结合面间的静密封和相对运动结合面间的动密封两大类。这里,开启式机舱外风力发电机的密封部位有相对运动,属于旋转密封。根据密封件与其作相对运动的部件是否接触,动密封可以分为接触式密封和非接触式密封及无轴封。对于开启式机舱外风力发电机若采用接触式密封,在非雨、雪时段的干燥时间里就无法依靠相对干燥的气流对电机内部进行长期直接冷却。非接触式密封有迷宫密封和动力密封。迷宫密封是利用流体在间隙内的节流效应限漏,泄漏量较大,通常用在要求不高的场合。动力密封有离心密封、浮环密封、螺旋密封、气压密封、喷射密封、水力密封、磁流密封等,是靠动力元件产生压力来抵消密封两侧的压力差以克服泄露,它有很高的密封性,但能耗大。这类密封是利用流体力学的平衡状态而工作的。如果运转条件发生变化,就会引起泄漏量很大的波动。

[0029] 迷宫密封也称梳齿密封,主要用于气体密封。它可以使流体经过许多节流间隙与膨胀空腔组成的通道,经过多次节流而产生很大的能量损耗,流体压力大为下降。在直驱外转子大尺度永磁风力发电机中可以借助“节流压降”这个特点构造密封环节。

[0030] 气压密封利用空气压力来堵住旋转部件与静止部件之间的间隙,以保证密封。但要有一定压力的气源供气,气源在此密封处产生的压力要比电机外自然环境压力偏高。气压密封不受温度、速度限制,一般用于密封两侧压差不大的地方。

[0031] 基于以上检索到的相关代表性论文来看,目前,运行在电网里的火力发电机组、水力发电机组、核电机组通常设置在一个固定的厂房内。通常,厂房内不会经遭受雨、雪的侵入。只是水电机组在经受洪水的淹没的情况下,上述发电机组采用的冷却介质(水)在发生泄露的情况下,地面运行的发电机组的运行条件维护的便利性都远远好于风电场运行的陆上或海上风力发电机组。发电机冷却方面,在充分利用自然环境中的风冷的便利和性能优越条件的同时,需要解决和要经受考验的是发电机的绝缘体系的绝缘水平。永磁直驱外转子风力发电机常年暴露在风、沙、雨、雪、太阳暴晒或停机后的冰冻环境之中,与地面运行的汽轮发电机、燃气轮发电机、水轮发电机所处的环境差距太大,尤其是有的修复工作成本太高,高空作业(60-100米)吊车使用需要费用高额支付。所以在地面上容易开展的工作到风力发电机里甚至就变得不可能。另一方面,风力发电机组中的操作还依赖于有风天气。风轮机带动发电机转子转动,发电机定子感应出电势,才可在定子出口实施三相短路,依靠短路电流产热来干燥定子,提高绝缘水平。同时还需根据当时风速大小,实施变桨间接控制发电机转子转速,进而控制短路电流,控制绕组产热来烘潮,这些条件都依赖于天气。况且风的持续长短影响着烘潮效果,直驱外转子永磁风力发电机质量大,产热需要量极大,产热后热传导时间和驱潮时的质量传递干燥时间都是若干小时数量级,风的持续性时间长短、间断性都影响着烘潮效果。

[0032] 发明人在实际操作中发现现有技术存在以下缺陷:

[0033] (1) 永磁直驱外转子风力发电机使用自然风去冷却定子铁心支架和转子外壁,同时一定数量的自然环境中的风经发电机定子转子间隙侵入电机腔体,再由气隙沿轴向流到另一端聚集,沉积后轻的空气从后端密封挤出排入大气。流经电机内部空隙的是气(汽)、液、固多相流(其中有空气、水蒸气、雨、雪、盐雾、沙尘、絮状物等)。它们能够引起绝缘性能恶化,导致电机绝缘电气性能、机械性能劣化,剩余耐压水平和寿命减少,最终导致绝缘的破坏。

[0034] (2) 以上都是地面发电机组作业,在 60-100 米的高空作业,包括实现各种功能,尤其是机舱开展检修工作,通常人力物力所不能及,甚至变得不可能。风力发电机密封、干燥措施及其维护(检修、更换)与地面运行的火力发电、水力发电的发电机工作难度相差甚远。一些地面使用的好方法对于在“天上”运行的风力发电机组却不便开展、甚至难以适用。

[0035] (3) 单独依靠上述通热风干燥方法只是表面干燥技术,解决不了定子铁心内部叠片层间受潮后的干燥需求。

[0036] (4) 采用开启式结构是不能抵御风雨交加的天气或风雪交加的天气里空气携带雨、或雪侵入发电机的危害,“绝缘水平降低”为发电机冷却付出了代价。

[0037] (5) 停机后,发电机腔体内、气隙内湿空气冷凝渗入电机,会导致电机定子,永磁磁极表面覆层受潮,会影响它们的使用寿命。

## 发明内容

[0038] 本发明实施例的目的在于提供一种永磁直驱风力发电机、系统及其定子,能够将定子支架内部的气流引入到定子铁心的轴向端面上,从而便于电机能使用设置于内部的气流源干燥自身,或者抵御外界恶劣气流(例如雨或雪等)使之不易进入电机内部,延长永磁磁极的使用寿命,防止电机内部器件“绝缘水平降低”,降低电机受潮气侵蚀的风险以及使绝缘可靠性能得到保证。

[0039] 为达到上述目的,本发明的实施例提供了一种永磁直驱风力发电机的定子,包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心以及桨侧齿压板,所述桨侧齿压板设置在所述定子铁心的桨侧轴向端面上,

[0040] 在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述桨侧齿压板上开设有至少一个第二气孔,

[0041] 所述定子还包括有联通所述第一气孔和所述第二气孔的至少一个气流通通道,所述气流通通道穿过所述定子铁心的内部。

[0042] 进一步地,在所述定子支架的外周壁上固定有冲片固定键,所述定子铁心的燕尾槽套设在所述冲片固定键上,所述气流通通道穿过所述冲片固定键与所述第一气孔联通。

[0043] 进一步地,所述气流通通道包括径向气流通通道和轴向气流通通道,所述径向气流通通道穿过所述冲片固定键和所述定子铁心的内部,所述径向气流通通道的一端与所述第一气孔连接,另一端与所述轴向气流通通道连接,所述轴向气流通通道沿轴向穿过所述定子铁心的内部与所述第二气孔联通。

[0044] 进一步地,所述第一气孔、所述第二气孔以及所述气流通通道为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,多个所述第一气孔、所述第二气孔以及所述气流通通道对应联通,形成多条独立的从所述定子支架的外周壁到所述桨侧齿压板的气流通道。

[0045] 进一步地,在所述桨侧齿压板上设置有环形的渐缩喷管,所述第二气孔与所述渐缩喷管的环形入口联通。

[0046] 进一步地,所述定子包括桨侧围板,与所述定子匹配的转子包括转子密封环,在将所述定子与转子组合安装后,所述渐缩喷管的环形出口对着所述桨侧围板和所述转子密封环形成的环形缝隙。

[0047] 进一步地,所述渐缩喷管的剖面呈镰刀形,包括依次联通的竖直段、倾斜段以及弯曲段,所述竖直段与所述第二气孔联通,所述竖直段的径向宽度一致且大于或等于所述第二气孔的径向宽度,所述倾斜段整体上向定子中心方向倾斜,所述弯曲段整体上呈圆弧状,其末端形成所述渐缩喷管的出口,从所述倾斜段到所述弯曲段的末端,所述径向宽度逐渐缩小。

[0048] 此外,本发明的实施例还提供了另一种永磁直驱风力发电机的定子,包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心、桨侧齿压板以及塔侧齿压板,所述桨侧齿压板设置在所述定子铁心的桨侧轴向端面上,所述塔侧齿压板设置在所述定子铁心的塔侧轴向端面上,

[0049] 在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述桨侧齿压板上开设有至少一个第二气孔,在所述塔侧齿压板上开设有至少一个第三气孔,

[0050] 所述定子还包括将所述第一气孔与所述第二气孔和所述第三气孔联通的至少一个气流通通道,所述气流通通道穿过所述定子铁心的内部。

[0051] 进一步地,在所述定子支架的外周壁上固定有冲片固定键,所述定子铁心的燕尾槽套设在所述冲片固定键上,所述气流通通道穿过所述冲片固定键与所述第一气孔联通。

[0052] 进一步地,所述气流通通道包括径向气流通通道和轴向气流通通道,所述径向气流通通道穿过所述冲片固定键和所述定子铁心的内部,所述径向气流通通道的一端与所述第一气孔连接,另一端与所述轴向气流通通道连接,所述轴向气流通通道沿轴向穿过所述定子铁心的内部与所述第二气孔和所述第三气孔联通。

[0053] 进一步地,所述第一气孔、所述第二气孔、所述第三气孔以及所述气流通通道为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,多个所述第一气孔、所述第二气孔、所述第三气孔以及所述气流通通道对应联通,形成多条独立的从所述定子支架的外周壁到所述桨侧齿压板和所述塔侧齿压板的气流通路。

[0054] 进一步地,在所述桨侧齿压板和所述塔侧齿压板上分别设置有环形的渐缩喷管,所述第二气孔和所述第三气孔与所述渐缩喷管的环形入口联通。

[0055] 进一步地,所述定子包括桨侧围板和塔侧围板,所述转子包括转子密封环和端盖密封环,在将所述定子与转子组合安装后,设置在所述桨侧齿压板上的渐缩喷管的环形出口对着桨侧围板和转子密封环形成的缝隙,设置在所述塔侧齿压板上的渐缩喷管的环形出口对着所述塔侧围板和所述端盖密封环形成的环形缝隙。

[0056] 进一步地,所述渐缩喷管的剖面呈镰刀形,包括依次联通的竖直段、倾斜段以及弯曲段,设置在所述桨侧齿压板和所述塔侧齿压板上所述渐缩喷管的所述竖直段分别与所述第二气孔和所述第三气孔联通,所述竖直段的径向宽度一致且大于或等于所述第二气孔和所述第三气孔的径向宽度,所述倾斜段整体上向定子中心方向倾斜,所述弯曲段整体上呈圆弧状,其末端形成所述渐缩喷管的出口,从所述倾斜段到所述弯曲段的末端,所述径向宽

度逐渐缩小。

[0057] 本发明的实施例还提供了一种永磁直驱风力发电机,包括转子以及如上任一所述的定子。

[0058] 另外,本发明的实施例还提供了又一种永磁直驱风力发电机的定子,包括定子支架、设置在定子支架的外周壁的定子铁心以及塔侧齿压板,所述塔侧齿压板设置在所述定子铁心的塔侧轴向端面上,

[0059] 在所述定子支架的外周壁上开有至少一个第一气孔,在所述塔侧齿压板上开设有至少一个第三气孔,

[0060] 所述定子还包括有联通所述第一气孔和所述第三气孔的至少一个气流通通道,所述气流通通道穿过所述定子铁心的内部。

[0061] 进一步地,在所述定子支架的外周壁上固定有冲片固定键,所述定子铁心的燕尾槽套设在所述冲片固定键上,所述气流通通道穿过所述冲片固定键与所述第一气孔联通。

[0062] 进一步地,所述气流通通道包括径向气流通通道和轴向气流通通道,所述径向气流通通道穿过所述冲片固定键和所述定子铁心的内部,所述径向气流通通道的一端与所述第一气孔连接,另一端与所述轴向气流通通道连接,所述轴向气流通通道沿轴向穿过所述定子铁心的内部与所述第三气孔联通。

[0063] 进一步地,所述第一气孔、所述第三气孔以及所述气流通通道为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,多个所述第一气孔、所述第三气孔以及所述气流通通道对应联通,形成多条独立的从所述定子支架的外周壁到所述塔侧齿压板的气流通路。

[0064] 本发明的实施例还提供了另一种永磁直驱风力发电机,包括转子以及如上任一所述的定子。

[0065] 进一步地,所述定子包括塔侧围板,所述转子包括端盖密封环,在所述塔侧围板和所述端盖密封环之间设置有塔侧密封部件,所述塔侧密封部件固定在所述塔侧围板或者所述端盖密封环的一方上,以动密封的方式密封塔侧围板和所述端盖密封环之间的环形缝隙。

[0066] 本发明的实施例还提供了一种永磁直驱风力发电机系统,包括如上所述的风力发电机以及设置在风电机组内部的气源系统,所述气源系统与所述第一气孔连接。

[0067] 进一步地,所述气源系统包括产生预定压力的气流的气源发生装置和对所述气流进行气源净化以及干燥处理的气源处理装置。

[0068] 进一步地,所述气源发生装置为空气压缩机,所述气源处理装置包括空气过滤器、冷却器、油水分离器以及干燥器。

[0069] 进一步地,所述气源系统通过母管和支管与所述第一气孔连接,从所述母管上引出与所述第一气孔数量相同的支管,所述支管对应连接在所述第一气孔上。

[0070] 本发明实施例的永磁直驱风力发电机、系统及其定子,能够将定子内部的气流引入到定子铁心的轴向端面上,从而使电机能使用设置于内部的气流源进行自身干燥、冷却或者抵御外界恶劣气流(例如雨或雪)使之不易进入电机内部,从而能够延长永磁磁极的使用寿命,防止电机内部器件“绝缘水平降低”,降低电机受恶劣气流(例如雨或雪)侵蚀的风险以及使绝缘可靠性能得到保证。

## 附图说明

- [0071] 图 1 为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的定子结构示意图；
- [0072] 图 2 为图 1 中沿 A-A 向的截面示意图；
- [0073] 图 3 为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的定子铁心内部的气流路径示意图；
- [0074] 图 4 为本发明实施例一的设置在永磁直驱风力发电机内的渐缩喷管的结构示意图；
- [0075] 图 5 为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的定子内气流获取路径；
- [0076] 图 6 为本发明实施例一的发电机的定子和转子结合部分的结构示意图；
- [0077] 图 7 为本发明实施例二的永磁直驱风力发电机的定子和转子结合部分的结构示意图；
- [0078] 图 8 为本发明实施例二的永磁直驱风力发电机整体结构示意图；
- [0079] 图 9 为本发明实施例三的永磁直驱风力发电机的定子和转子结合部分的结构示意图。

[0080] 附图标号说明：

- [0081] 1- 定子支架；2- 第一气孔；3- 桨侧围板；4- 渐缩喷管；41- 弯曲段；42- 倾斜段；43- 竖直段；5- 第二气孔；6- 桨侧齿压板；7- 冲片固定键；8- 定子铁心；9- 气流通道；91- 轴向通道；92- 径向通道；10- 塔侧齿压板；11- 塔侧围板；12- 气源系统；13- 母管；14- 支管；15- 转子支架；16- 转子密封环；17- 绕组；18- 磁极；19- 转子端盖；20- 端盖密封环；21- 第三气孔；22- 塔侧密封件。

## 具体实施方式

[0082] 下面结合附图对本发明的实施例进行详细描述。

[0083] 本发明实施例的技术原理是利用永磁直驱风力发电机定子铁心内的气流通道将机组内部气源引入到定子铁心的轴向端面上，从而利用该气流在风机的定子和转子组合后形成的内部空间中构建微正压环境，使用微正压气流来抵御外界恶劣气流（气、液、固多相流，其中有空气、水蒸气、雨、雪、盐雾、沙尘、絮状物等）的入侵。本发明实施例所说的微正压是内部气流或者环境的压力大于外界环境，在程度上能够使外界的气流无法进入电机内部即可。其中，上述的恶劣气流主要是指雨水气液两相流或风雪气固两相流，当然极端情况下也存在气、液、固多相流，例如有空气、水蒸气、雨、雪、盐雾、沙尘、絮状物等。这些恶劣气流主要出现于雨或雪等恶劣的天气状况下，因此，本发明实施例的装置主要是为了抵御这些恶劣气流而设计的，而在正常干燥的天气下，可以不使用本发明实施例的装置，而让干燥气流进入风力发电机中，用于对风机进行干燥、冷却。

[0084] 实施例一

[0085] 如图 1 所示，其为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的定子结构示意图。为了便于描述可以将图 1 中的上方定义为桨侧（在风机工作的过程中，桨侧一般会面对上风侧），将下方定义为塔侧（在风机工作的过程中，塔侧一般会面对下风侧），水平方向定义为径向（以整个风机为中心而言的径向），竖直方向定义为轴向（沿着风力发电机的转轴的方向）。此外，定子支架的外周壁是指与定子铁心或者固定定子铁心的冲片固定键相接或者相

邻的侧壁,即定子支架的最外侧的部分。

[0086] 本实施例的永磁直驱风力发电机的定子包括定子支架 1、设置在定子支架 1 外周壁的定子铁心 8 以及桨侧齿压板 6,桨侧齿压板 6 设置在定子铁心 8 的桨侧轴向端面上。定子支架为圆筒状,因此在定子支架 1 的外周壁上可以开有至少一个第一气孔 2,在桨侧齿压板 6 上可以开设有至少一个第二气孔 5。定子还可以包括有联通第一气孔 2 和第二气孔 5 的至少一个气流通道 9,气流通道 9 可以穿过定子铁心 8 的内部。

[0087] 其中,第一气孔 2 和第二气孔 5 可以为圆形也可以为三角形、椭圆形。此外,气孔也可以为其它形状的导气孔等,总之,只要是能够导通气流即可。优选地,第一气孔 2 和第二气孔 5 为圆形气孔,圆形气孔能减少对气流的流动沿程阻力。

[0088] 通过该定子结构,能够将定子内部的气流引入到定子铁心的桨侧齿压板 6 的端面上,从而在风力发电机的桨侧,风力发电机能利用设置于内部的气流源进行自身干燥、冷却或者抵御外界恶劣气流(例如雨或雪等)使之不易进入电机内部,从而能够延长永磁磁极的使用寿命,防止电机内部器件“绝缘水平降低”,降低电机受恶劣气流(例如雨或雪等)侵蚀的风险以及使得绝缘可靠性能得到保证。

[0089] 进一步地,在上述定子结构的基础上,可以在桨侧齿压板 6 上设置环形的渐缩喷管 4,从而控制从定子内部引出的气流,用来实现风机的干燥或者用来抵御外界气流。

[0090] 下面将对上述定子结构所涉及的气流通道、渐缩喷管、设置在风电机组内部的气源系统以及气流流动路径的可选实施方式进行详细介绍。

[0091] (1) 定子铁心内部的气流通道

[0092] 定子铁心 8 内部的气流通道 9 用于将定子内部的气源 12 的气流引入到桨侧齿压板 6 上开设的至少一个第二气孔 5 处。具体地,如图 2 所示,其为图 1 中沿 A-A 截面截取的气流通道结构示意图,在定子支架 1 的外周壁上固定有冲片固定键 7,定子铁心 8(定子铁心由多瓣铁心模块组合而成,每个铁心模块由铁心叠片构成)具有燕尾槽,该燕尾槽套设在冲片固定键 7 上,从而将定子铁心 8 固定在定子支架 1 的外周壁上。第一气孔 2 可以位于与冲片固定键 7 接触的定子支架 1 的外周壁上,气流通道 9 可以穿过冲片固定键 7 的气孔与第一气孔 2 联通。

[0093] 如图 6 所示,气流通道 9 可以包括径向气流通道 92 和轴向气流通道 91,径向气流通道 92 可以穿过冲片固定键 7 和定子铁心 8 的内部,径向气流通道 92 的一端与第一气孔 2 连接,另一端与轴向气流通道 91 连接,轴向气流通道 91 可以沿轴向穿过定子铁心 8 的内部与第二气孔 5 联通。其中,径向气流通道 92 与轴向气流通道 91 可以直接连接,也可以经过任意弯曲后再连接,总之,只要能将径向气流通道 92 和轴向气流通道 91 连接即可。

[0094] 此外,第一气孔 2、第二气孔 5 以及气流通道 9 可以为多个且数量相等,沿着圆周均等设置。其中,多个第一气孔 2、第二气孔 5 以及气流通道 9 对应联通,形成多条独立的从定子支架 1 的内壁到桨侧齿压板 6 的气流通路。优选地,在定子铁心 8 的内部桨侧齿压板 6 的下方,径向气流通道 92 在定子铁心 8 内部 90 度转向进入轴向气流通道 91,轴向气流通道 91 平行于电机定子轴向。如图 3 所示,其为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的定子铁心内部的气流路径示意图,其中,径向气流通道与轴向气流通道一一对应,图中仅示出了轴向气流通道,本发明实施例具有若干个气流通道,优选地,如图 3 所示,共设置有 48 个气流通道,它们的长度  $(L_1、L_2 \cdots L_{48})$  / 内径  $(d_1、d_2 \cdots d_{48})$  / 绝对粗糙度  $(\epsilon_1、\epsilon_2 \cdots \epsilon_{48})$

优选为相同,周向间隔也是一致的。

#### [0095] (2) 渐缩喷管

[0096] 渐缩喷管 4 的出口可以正对定子与转子之间的间隙,渐缩喷管 4 可以将气流加速后喷出,在定子与转子之间的间隙处形成微正压气流去主动抵御雨雪天气时段雨或雪“气液两相流”或“气固两相流”的侵入。具体地,如图 4 所示,其为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的渐缩喷管的结构示意图;在桨侧齿压板 6 上可以设置有环形的渐缩喷管 4(即整体上沿着定子的圆周方向设置),第二气孔 5 与渐缩喷管 4 的环形入口联通,可以将定子铁心 8 内部的气流通道 9 中的气体引至渐缩喷管 4 中。

[0097] 此外,在风力发电机的上风侧(也称为桨侧,即图 6 的上侧),定子可以包括桨侧围板 3,转子可以包括转子密封环 16,在将定子与转子组合安装后,渐缩喷管 4 的环形出口可以正对着桨侧围板 3 和转子密封环 16 形成的环形缝隙。用于封堵桨侧围板 3 和转子密封环 16 之间形成的环形缝隙。可选地,由于桨侧围板 3 为圆环状,因此渐缩喷管 4 可以制成一体式圆环状喷管,紧密地环扣在桨侧围板 3 的至少一个第二气孔 5 处,使得渐缩喷管 4 与第二气孔 5 无缝连接,进而使得各个第二气孔 5 流出的气体充分汇流并使气流的压力均一化,在渐缩喷管 4 的出口处形成均等的压力。

[0098] 在设计渐缩喷管的过程中,使用流体力学中实际流体总流的伯努利方程(能量方程),来分析上风向空气流携带雨水(或雪)撞击风力发电机受阻后,在穿越定子桨侧围板 3 与转子密封环 16(围板)之间环状间隙时,雨水气液两相流或风雪气固两相流(简称外部恶劣气流)在发电机上风向环状间隙前后产生的压力和流速的变化,从而获得外部恶劣气流进入环形缝隙后的压力和流速。然后,利用流体力学的平衡状态而计算此处气压密封射流元件——环形渐缩喷管出口气流的压力和流速。

[0099] 一般来说,环形的渐缩喷管 4 的出口气流的压力和流速只需要略高于上述的外部恶劣气流进入环形缝隙的压力和流速即可。较为优选地,是环形的渐缩喷管 4 的出口气流的压力和流速高于外部恶劣气流的压力和流速的 3% -5% 左右。在确定了环形的渐缩喷管 4 的出口气流的压力和流速后,由于环形的渐缩喷管 4 的出口的面积是一定的,因此,可以求得渐缩喷管 4 的出口所需的气流流量,根据流体流动的连续性原理,用于供给气源的空气压缩机的出口气流流量应该与渐缩喷管 4 的出口所需的气流流量相等,从而确定了空气压缩机的出口气流流量。

[0100] 此外,根据压力平衡的原理,用于供给气源的空气压缩机的出口气流的压力应该与环形的渐缩喷管 4 的出口气流的所需的压力再加上从气源到喷管出口各个环节总的压力降落之和相同,其中,压力降落包括沿程阻力和局部阻力。如上面所述,为了能够抵御外界恶劣气流,在渐缩喷管 4 的出口处压力需要略高于上述的外部恶劣气流进入环形缝隙的压力,在确定了渐缩喷管 4 的出口处压力后,再加上从气源到喷管出口各个环节总的压力降落(这个可以根据气流传输通道以及渐缩喷管的结构通过理论计算或者测量而获得)后,就可以确定空气压缩机的出口气流的压力。

[0101] 由此可见,通过上述理论计算以及实际测量,能够确定出空气压缩机的出口气流的压力和流量。

[0102] 进一步地,渐缩喷管 4 的截面可以呈镰刀形,可以包括依次联通的竖直段 43、倾斜段 42 以及弯曲段 41,竖直段 43 与第二气孔 5 联通,竖直段 43 的径向宽度一致且大于或等

于第二气孔 5 的径向宽度,倾斜段 42 整体上向定子中心方向倾斜,弯曲段 41 整体上呈圆弧状,其末端形成渐缩喷管 4 的出口,从倾斜段 42 到弯曲段 41 的末端,径向宽度逐渐缩小。气流流经渐缩喷管 4 能够将气流的压力能转化为气流的动能。

[0103] 渐缩喷管 4 依靠气源(例如空气压缩机)提供的足够压力产生高速气流,并且出口流速、流量可控,以适应桨侧风向气流速度的变化。即:气压密封的压力可以根据需要自动调整,实现“自适应”调节,从而减小作为气源的空气压缩机的耗功,节约能源。

[0104] 在本实施例中,通过将内部气源的气流引入到渐缩喷管内,进而可以通过渐缩喷管将气流加速后在出孔处喷出,由于渐缩喷管出孔正对定子与转子之间的环状间隙,因此电机内部与外界环境之间形成微正压屏障,能主动抵御雨雪天气时段“气液两相流”或“气固两相流”的侵入,借助电机内蓄积大量干燥空气并被微正压挤出,从而排除了电机外界的潮湿气流,使得绕组表面、永磁磁极表面防护覆层达到了干燥要求,降低了电机受雨水或雪融化产生的潮气侵蚀的风险,提高了绝缘可靠性。

[0105] (3) 风电机组内部的气源系统

[0106] 风电机组内部的气源系统 12(具体地,气源系统 12 可以设置在定子支架之间或者在机舱空间内)中的气源可以取自机舱内的气压发生装置。气源系统 12 在雨、雪天气时段可以抵御风雨“气液两相流”和风雪“气固两相流”的侵入;气源系统 12 在需要干燥电机内部的时间段工作,使得在充分干燥发电机定子绝缘和转子磁极防护层的同时减少了气源的能耗。设置在定子中的气流通道 9 通过第一气孔 2 与气源系统 12 连接,将风电机组内部的气源引至气流通道 9 中。气源系统 12 可以包括产生预定压力气流的气源发生装置和可以对气流进行净化以及干燥处理的气源处理装置。

[0107] 气源发生装置可以为空气压缩机,空气压缩机(或压气机)是气压发生装置,它是提高空气的压力或输送空气的机器,也是将原动机供给的机械能转化成空气压力能的一种转换装置。在空气压缩机工作过程中,处于压缩机气缸中的空气被迅速压缩,气体被迅速压缩的过程是一个放热过程,必然引起压缩机气缸的温度升高,因此,一般需进行冷却。在多级压缩的空气压缩机最后一级排气温度可达 140—170℃,在这样高的温度下,压缩空气中常混有一定的气态油和水蒸气,需要设置冷却器冷却压缩空气,以初步离析压缩空气中所含的油分和水分,防止油分和水分随压缩空气进入风力发电机定子铁心流道。因此,气源处理装置还可以包括空气过滤器、冷却器、油水分离器以及干燥器。其中,空气过滤器用作过滤进入空气压缩机气缸之前的气体(即过滤机舱内空气中所含的灰尘和其它杂质),用于防止空气中的灰尘、固体杂质等进入空气压缩机后,导致空气压缩机气缸中相对运动部件的摩擦和磨损。

[0108] 此外,油水分离器(气液分离器)用作进一步分离压缩空气中所含有的油分和水分,使压缩后的空气得到初步的净化处理,用于消除油分和水分对电机定子支架及其铁心内流道、发电机内部的污染、腐蚀。

[0109] 另外,压缩空气经冷却器和油水分离器后,仍然含有一定的水分,其含量的多少取决于空气的温度、压力和相对湿度的大小。电机内需要的是干燥空气,因此需要设置空气干燥装置,即干燥器。

[0110] 进一步地,如图 5 所示,其为本发明实施例一的永磁直驱风力发电机的定子内气流获取路径,气源系统 12 可以通过母管 13 和支管 14 与第一气孔 2 连接,可以从母管 13 上

引出与第一气孔 2 数量相同的支管 14, 支管 14 对应连接在第一气孔 2 上。母管 13 优选为圆环形, 也可以是分段的圆环分段, 从而能够减小对气流的流动造成的沿程阻力。

#### [0111] (4) 气流流动路径

[0112] 如图 6 所示, 其为本发明实施例一的发电机的定子和转子结合部分的结构示意图。图中所示的小箭头代表气流的流通过程。具体地, 机舱内空气气流经过气源系统 12 的过滤干燥压缩后送至定子支架 1 上的第一气孔 2, 气流由第一气孔 2 穿过冲片固定键 7 进入定子铁心 8 的径向气流通道 92, 气流沿径向气流通道 92 转入轴向气流通道 91, 之后由轴向气流通道 91 穿过桨侧齿压板 6, 进入渐缩喷管 4 中, 经渐缩喷管 4 加速之后由渐缩喷管 4 出口处喷出, 吹向桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状间隙, 从而去封堵环状旋转间隙, 阻止雨雪气固两相流或雨水气液两相流的侵入。

[0113] 具体来说, 在风机的工作过程中, 桨侧一般是正对上风向, 上风向来流撞击发电机定子支架会发生反弹、溅射, 再与转子密封环撞击后反射、蓄积, 引起气流压力恢复性升高 (相比来流时), 这些气流将会向桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状气隙内入侵。本发明实施例的渐缩喷管 4 所喷出的气流正是用来封堵上述气流的入侵。渐缩喷管 4 所喷出的气流在封堵外界的入侵气流后, 一部分会从桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状气隙中喷出 (这个视气流的压力的大小, 也可以不喷出, 只要能够起到封堵作用即可), 另一部分或者全部气流会撞击转子密封环 16, 撞击后的反弹气流进入定转子之间的气隙, 沿轴向汇集在定子端部机舱侧 (即塔侧齿压板 10 与转子端盖 19 之间), 最后经端盖密封环 20 与塔侧围板 11 之间的环状间隙排入大气环境中, 这些在电机内部反弹的部分气流还可以对绕组 17 和磁极 18 进行干燥。以上介绍了本实施例的永磁直驱风力发电机的定子的结构示意图。在此基础上, 在本实施例一还提供了一种永磁直驱风力发电机, 其包括转子以及如本实施例提供的定子。此外, 本实施例一还提供了一种永磁直驱风力发电机系统, 其包括如上述风力发电机以及设置在风电机组内部的气源系统 12, 气源系统 12 可以与第一气孔 2 连接。其中, 作为可选的实施方式, 气源系统 12 以及与气源系统 12 相关联的部件也在前面进行说明, 在此不再赘述。

#### [0114] 实施例二

[0115] 本实施例涉及的定子、永磁直驱风力发电机的具体结构如图 7 和图 8 所示, 图 7 为本发明实施例二的永磁直驱风力发电机的定子和转子结合部分的结构示意图, 图 8 为本发明实施例二的永磁直驱风力发电机整体结构示意图。为了便于描述可以将图中的右方定义为桨侧, 将左方定义为塔侧, 垂直方向定义为径向 (以整个风机为中心而言的径向), 水平方向定义为轴向 (沿着风力发电机的转轴的方向)。图中所示的小箭头代表气流的流通过程。下面将着重说明与实施例一不同之处, 未提及的部分的结构可参照实施例一的描述。

[0116] 本实施例的定子包括定子支架 1、设置在定子支架 1 外周壁的定子铁心 8、桨侧齿压板 6 以及塔侧齿压板 10, 桨侧齿压板 6 设置在定子铁心 8 的桨侧轴向端面上, 塔侧齿压板 10 设置在定子铁心 8 的塔侧轴向端面上。在定子支架 1 的外周壁上开有至少一个第一气孔 2, 在桨侧齿压板 6 上开设有至少一个第二气孔 5, 在塔侧齿压板 10 上开设有至少一个第三气孔 21。定子还包括将第一气孔 2 与第二气孔 5 和第三气孔 21 联通的至少一个气流通道 9, 气流通道 9 穿过定子铁心的内部。

[0117] 其中, 第三气孔 21 与第一气孔 2 和第二气孔 5 类似, 可以为圆形也可以为三角形、

椭圆形。此外,第三气孔 21 气孔也可以为其它形状的导气孔等,总之,只要是能够导通气流即可,优选地,第三气孔 21 为圆形气孔,圆形气孔能减少对气流流动的沿程阻力。

[0118] 通过该定子结构,能够将定子内部的气流引入到定子铁心的桨侧齿压板 6 和塔侧齿压板 10 的端面上,从而在风力发电机的桨侧和塔侧,风力发电机都能利用设置于内部的气流源进行自身干燥、冷却或者抵御外界恶劣气流使之不易进入电机内部,从而能够延长永磁磁极的使用寿命,防止电机内部器件“绝缘水平降低”,降低电机受恶劣气流(例如雨或雪等)侵蚀的风险以及使得绝缘可靠性能得到保证。

[0119] 进一步地,在上述定子结构的基础上,可以在桨侧齿压板 6 和塔侧齿压板 10 上设置环形的渐缩喷管 4,从而控制从定子内部引出的气流,用来实现风机的干燥、冷却或者用来抵御外界恶劣气流。

[0120] 下面将对上述定子结构中的气流通道、渐缩喷管以及设置在风电机组内部的气源系统以及风机中的气流流动路径的可选实施方式进行详细介绍。

[0121] (1) 定子铁心内部的气流通道

[0122] 定子铁心 8 内部的气流通道 9 用于将定子内部的气源引入到桨侧齿压板 6 上开设的至少一个第二气孔 5 以及塔侧齿压板 10 上开设的至少一个第三气孔 21 处。同样可以参照图 2,在定子支架 1 的外周壁上固定有冲片固定键 7,定子铁心 8 具有燕尾槽,该燕尾槽套设在冲片固定键 7 上,从而将定子铁心 8 固定在定子支架 1 的外周壁上。第一气孔 2 可以位于与冲片固定键 7 接触的定子支架 1 的外周壁上,冲片固定键 7 上可以设置有气孔,气流通道 9 可以穿过冲片固定键 7 的气孔与第一气孔 2 联通。

[0123] 如图 7 所示,与实施例一一样,气流通道 9 可以包括径向气流通道 92 和轴向气流通道 91,径向气流通道 92 可以穿过冲片固定键 7 和定子铁心 8 的内部,径向气流通道 92 的一端与第一气孔 2 连接,另一端与轴向气流通道 91 连接,与实施例一不同之处在于,轴向气流通道 91 可以沿轴向穿过定子铁心 8 的内部与第二气孔 5 和第三气孔 21 联通。

[0124] 此外,第一气孔 2、第二气孔 5、第三气孔 21 以及气流通道 9 可以为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,其中,多个第一气孔 2、第二气孔 5、第三气孔 21 以及气流通道 9 对应联通,形成多条独立的从定子支架 1 的内壁到桨侧齿压板 6 和塔侧齿压板 10 的气流通路 9。

[0125] (2) 渐缩喷管

[0126] 本实施例也可以设置有与实施例一结构相同的渐缩喷管 4,只不过,实施例一的渐缩喷管 4 设置于电机的一侧,而本实施例中,渐缩喷管 4 设置于电机的两侧。具体地,在本实施例中,在桨侧齿压板 6 和塔侧齿压板 10 上分别设置有环形的渐缩喷管 4,第二气孔 5 和第三气孔 21 分别与对应一侧渐缩喷管的环形入口联通,即桨侧齿压板 6 上的第二气孔 5 与桨侧渐缩喷管 4 的入口联通,塔侧齿压板 10 上的第三气孔 21 与塔侧渐缩喷管 4 的环形入口联通,从而可以将定子铁心 8 内部的气流通道 9 中的气体引至渐缩喷管 4 中。

[0127] 如图 7 所示,在电机的上风侧(也可以称为桨侧,即图 7 的右侧),定子可以包括桨侧围板 3,转子可以包括转子密封环 16,在将定子与转子组合安装后,设置于桨侧齿压板 6 上的渐缩喷管 4 的出口可以正对着桨侧围板 3 和转子密封环 16 形成的缝隙。用于封堵桨侧围板 3 和转子密封环 16 之间形成的环形缝隙。其中,桨侧围板 3 和转子密封环 16 均为圆环状。相对应地,在电机的下风侧(也可以称为塔侧,即图 7 的左侧),定子还可以包括塔

侧围板 11, 转子可以包括转子密封环 16 和端盖密封环 20, 在将定子与转子组合安装后, 设置在塔侧齿压板 10 上的渐缩喷管 4 的出口对着塔侧围板 11 和端盖密封环 20 形成的缝隙, 用于封堵塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间形成的环形缝隙。可选地, 由于桨侧围板 3 和塔侧齿压板 10 均为圆环状, 因此渐缩喷管 4 可以制成一体式圆环状喷管, 紧密地环扣在桨侧围板 3 和塔侧齿压板 10 上的至少一个第二气孔 5 和第三气孔 21 处, 使得渐缩喷管 4 与第二气孔 5 无缝连接, 进而使得各个第二气孔 5 流出的气体充分汇流并使气流的压力均一化, 在渐缩喷管 4 的出口处形成均等的压力。

[0128] 与实施例一一样, 如图 4 所示, 渐缩喷管 4 的径向剖面可以呈镰刀形, 可以包括依次联通的竖直段 43、倾斜段 42 以及弯曲段 41。其中, 设置在桨侧齿压板 6 和塔侧齿压板 10 上的渐缩喷管 4 的竖直段 43 分别与第二气孔 5 和第三气孔 21 联通, 即桨侧的渐缩喷管 4 的竖直段 43 与第二气孔 5 联通, 塔侧的渐缩喷管 4 的竖直段 43 与第三气孔 21 联通。竖直段 43 的径向宽度一致且大于或等于第二气孔 5 和第三气孔 21 的径向宽度。倾斜段 42 整体上向定子中心方向倾斜, 弯曲段 41 整体上呈圆弧状, 其末端形成渐缩喷管的出口, 从倾斜段 42 到弯曲段 41 的末端, 径向宽度逐渐缩小。

[0129] (3) 风电机组内部的气源系统

[0130] 气源系统 12 的结构及相关部件与实施例一相同。

[0131] (4) 气流流动路径

[0132] 如图 7 和图 8 所示, 图中所示的小箭头代表气流的流通过程, 机舱内空气气流经过气源系统 12 的过滤干燥压缩后送至定子支架 1 上的第一气孔 2, 气流由第一气孔 2 穿过冲片固定键 7 进入定子铁心 8 的径向气流通道 92, 气流沿径向气流通道 92 转入轴向气流通道 91, 之后由轴向气流通道 91 穿过桨侧齿压板 6 和塔侧齿压板 10, 进入两侧的渐缩喷管 4 中, 经渐缩喷管 4 加速之后由渐缩喷管 4 出口处喷出, 分别吹向桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状间隙和塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间的环状缝隙, 从而从风力发电机的两侧去封堵定子和转子之间的环状间隙, 阻止雨雪气固两相流或雨水气液两相流的侵入。

[0133] 上述实施例一所形成的气流路径是用来封堵从桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状气隙入侵的外界恶劣气流 (从桨侧入侵的气流), 而本实施例的结构所形成的气流路径还能够封堵从盖密封环 20 与塔侧围板 11 之间的环状缝隙入侵的外界恶劣气流 (从塔侧入侵的气流)。即, 本发明实施例的在桨侧和塔侧均设置了环形的渐缩喷管 4, 从而可以在两侧对外界恶劣气流进行封堵。

[0134] 一般情况下, 在风机的工作过程中, 桨侧一般是正对上风向, 在风机的上风侧的外界气流较强, 上风向来流撞击发电机定子支架会发生反弹、溅射, 再与转子密封环撞击后反射、蓄积, 引起气流压力恢复性升高 (相比来流时), 这些气流将会向桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状气隙内入侵。

[0135] 渐缩喷管 4 所喷出的气流在封堵外界来自桨侧入侵气流后, 一部分会从桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状气隙中喷出 (这个视气流的压力的大小, 也可以不喷出, 只要能够起到封堵作用即可), 另一部分或者全部气流会撞击转子密封环 16, 撞击后的反弹气流进入定转子之间的气隙, 最后经端盖密封环 20 与塔侧围板 11 之间的环状间隙排入大气环境中, 这部分在电机内部反弹的气流还可以对干燥绕组 17 和磁极 18 进行干燥。

[0136] 在这种情况下, 由于塔侧的外界气流相对于桨侧的外界气流弱, 因此, 设置在塔侧

的渐缩喷管 4 所喷出的气流可以直接从塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间的环状缝隙中喷出。

[0137] 另一方面,鉴于风场的环境复杂并且风向也可能多变,并且,风机在处于停机状态时,桨侧和塔侧所面对的风向也会发生变化。很多情况下,也会出现塔侧入侵的外界气流较强。在这种情况下就需要设置在塔侧的渐缩喷管 4 对外界的恶劣气流进行封堵。

[0138] 在这种情况下,塔侧的外界气流较强,而桨侧的外界气流较弱。渐缩喷管 4 所喷出的气流在封堵外界来自塔侧入侵气流后,一部分会从塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间的环状气隙中喷出(这个视气流的压力的大小,也可以不喷出,只要能够起到封堵作用即可),另一部分或者全部气流会撞击端盖密封环 20,撞击后的反弹气流进入定转子之间的气隙,最后经桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状气隙排入大气环境中,这些在电机内部反弹的部分气流同样可以对绕组 17 和磁极 18 进行干燥。

[0139] 在本实施例中,由于在塔侧也设置了渐缩喷管 4,因此,相比实施例一而言,能够对来自桨侧和塔侧的外界气流都进行封堵,从而更好地保证风机内部不受到外界气流的侵扰。

[0140] 此外,在本实施例一还提供了一种永磁直驱风力发电机,可以包括转子以及如本实施例提供的定子,具体结构如图 8 所示。

[0141] 此外,本实施例一还提供了一种永磁直驱风力发电机系统,可以包括如上述风力发电机以及设置在风电机组内部的气源系统 12,气源系统 12 可以与第一气孔 2 连接。其中,作为可选的实施方式,气源系统 12 以及与气源系统 12 相关联的部件也在前面进行说明,在此不再赘述。

[0142] 实施例三

[0143] 本实施例涉及的定子、永磁直驱风力发电机的具体结构,如图 9 所示,其为本发明实施例三的永磁直驱风力发电机的定子和转子结合部分的结构示意图,为了便于描述可以将图中的右方定义为桨侧(在风机工作的过程中,桨侧一般会面对上风侧),将左方定义为塔侧(在风机工作的过程中,桨侧一般会面对下风侧),竖直方向定义为径向(以整个风机为中心而言的径向),水平方向定义为轴向(沿着风力发电机的转轴的方向)。图中所示的小箭头代表气流的流通过程。下面将着重说明与实施例一和实施例二的不同之处,未提及的部分的结构可参照实施例一的描述。

[0144] 本实施例的永磁直驱风力发电机的定子包括定子支架 1、设置在定子支架 1 外周壁的定子铁心 8 以及塔侧齿压板 10,塔侧齿压板 10 设置在定子铁心 8 的塔侧轴向端面上。在定子支架 1 的外周壁上可以开有至少一个第一气孔 2,在塔侧齿压板 10 上开设有至少一个第三气孔 21。定子还可以包括有联通第一气孔 2 和第三气孔 21 的至少一个气流通道 9,气流通道 9 可以穿过定子铁心 8 的内部。

[0145] 通过该定子结构,能够将定子中部的气流引入到定子铁心的塔侧齿压板 10 的端面上,从而在风力发电机的塔侧,风力发电机能利用设置于内部的气流源进行自身干燥或者抵御外界恶劣气流使之不易进入电机内部,从而能够延长永磁磁极的使用寿命,防止电机内部器件“绝缘水平降低”,降低电机受恶劣气流(例如雨或雪等)侵蚀的风险以及使得绝缘可靠性能得到保证。

[0146] 另外,与实施例一和实施例二的不同之处在于,本实施例没有而定子上设置渐缩

喷管。

[0147] 此外,本实施例还提供了一种永磁直驱风力发电机,可以包括转子以及如本实施例提供的定子。其中,定子可以包括塔侧围板 11,转子可以包括端盖密封环 20,在塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间可以设置有塔侧密封件 22,塔侧密封件 22 可以固定在塔侧围板 11 或者端盖密封环 20 的一方上,以动密封的方式密封塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间的缝隙。

[0148] 与上述两个实施例的不同之处在于,本实施例没有利用渐缩喷管来构建微正压的环境,而是完全依靠风机内部的气流流动来构建微正压的环境来抵御外界气流的入侵。

[0149] 此外,本实施例还提供了一种永磁直驱风力发电系统,可以包括如上述风力发电机以及设置在风电机组内部的气源系统 12,气源系统 12 可以与第一气孔 2 连接。其中,气源系统 12 的结构和设置与实施例一相同。

[0150] 下面将对上述定子结构中的气流通道、设置在风电机组内部的气源系统以及风机内部的气流流动路径的可选实施方式进行详细介绍。

[0151] (1) 定子铁心内部的气流通道

[0152] 如图 9 所示,与实施例一一样,气流通道 9 可以包括径向气流通道 92 和轴向气流通道 91,径向气流通道 92 可以穿过冲片固定键 7 和定子铁心 8 的内部,径向气流通道 92 的一端与第一气孔 2 连接,另一端与轴向气流通道 91 连接。与实施例一不同之处在于,轴向气流通道 91 可以沿轴向穿过定子铁心 8 的内部与第三气孔 21 联通。

[0153] 此外,第一气孔 2、第三气孔 21 以及气流通道 9 可以为多个且数量相等,沿着圆周均等设置,其中,多个第一气孔 2、第三气孔 21 以及气流通道 9 对应联通,形成多条独立的从定子支架 1 的内壁到塔侧齿压板 10 的气流通道 9。

[0154] (2) 风电机组内部的气源系统

[0155] 气源系统 12 的结构及相关部件与实施例一相同。

[0156] (3) 气流流动路径

[0157] 本实施例的微正压环境没有借助渐缩喷管来实现,而是利用塔侧密封件 22 对气流的封堵来实现的。

[0158] 如图 9 所示,图中所示的小箭头代表气流的流径。具体地,机舱内空气气经过气源系统 12 的过滤干燥压缩后送至定子支架 1 上的第一气孔 2,气流由第一气孔 2 穿过冲片固定键 7 进入定子铁心 8 的径向气流通道 92,气流沿径向气流通道 92 转入轴向气流通道 91,机舱内空气气流到达轴向通道 91 后,由于桨侧封闭,气流便从第三气孔 21 流出,向发电机下风向端部流去,由于在塔侧围板 11 和端盖密封环 20 之间设置了塔侧密封件 22,对气流进行了封堵,绝大部分气流又进入定子支架 1 与转子支架 15 形成的环状气隙内,在环状气隙内气流经过塔侧绕组 17、磁极 18、到达桨侧绕组端部,最终聚压挤出桨侧围板 3 与转子密封环 16 之间的环状间隙排入大气环境中。

[0159] 这种方案的优点是:由于干燥气流需要经过定子支架 1 与转子支架 15 形成的环状气隙,因此,能够对塔侧和桨侧的绕组 17 和磁极 18 进行干燥,同时还可以在上风侧形成微正压气流,来抵御外界气流进入电机内部。

[0160] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵

盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

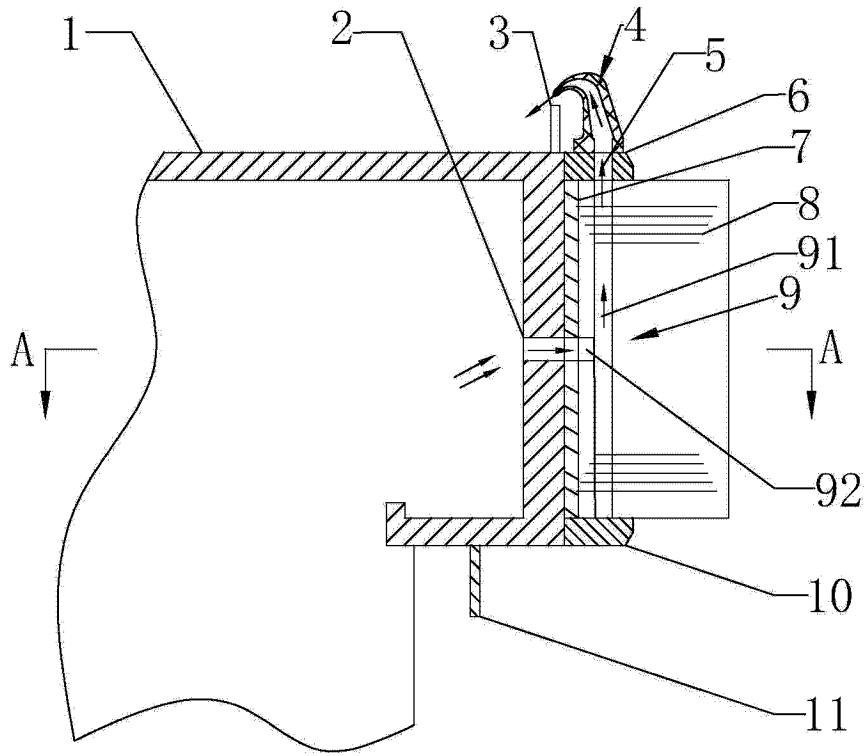


图 1

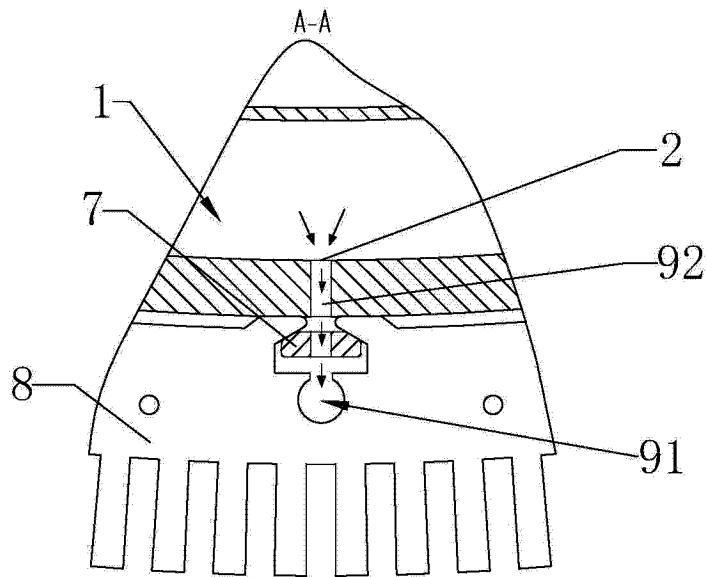


图 2

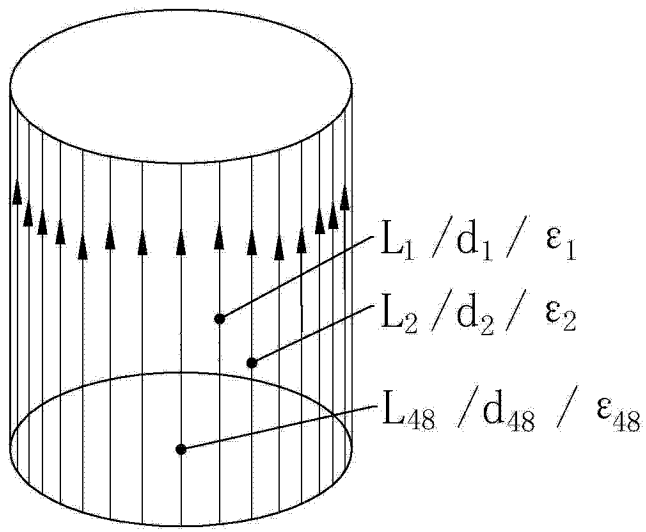


图 3

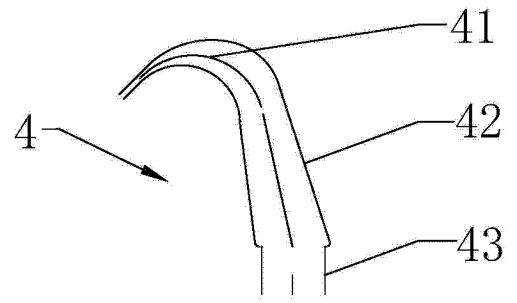


图 4

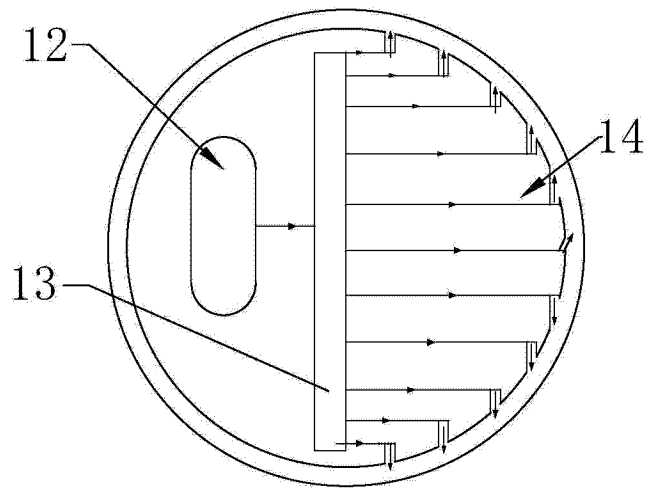


图 5

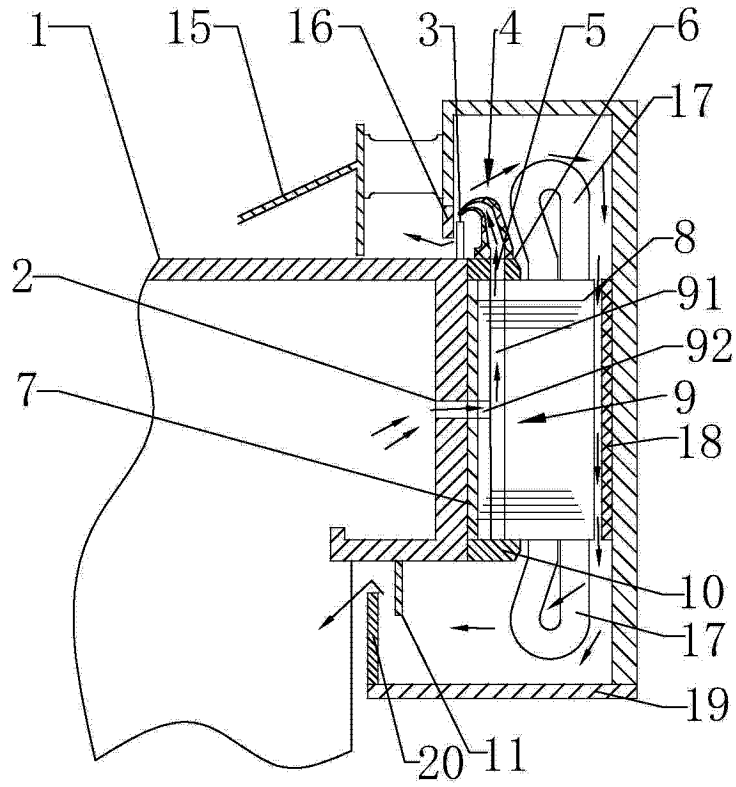


图 6

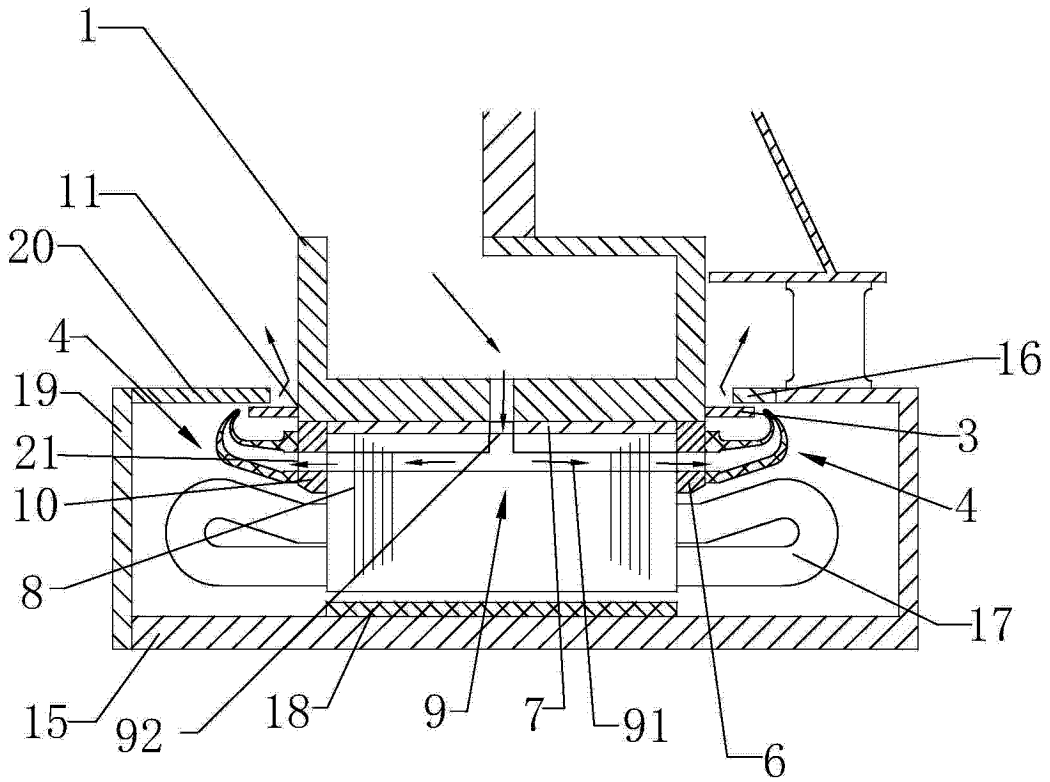


图 7

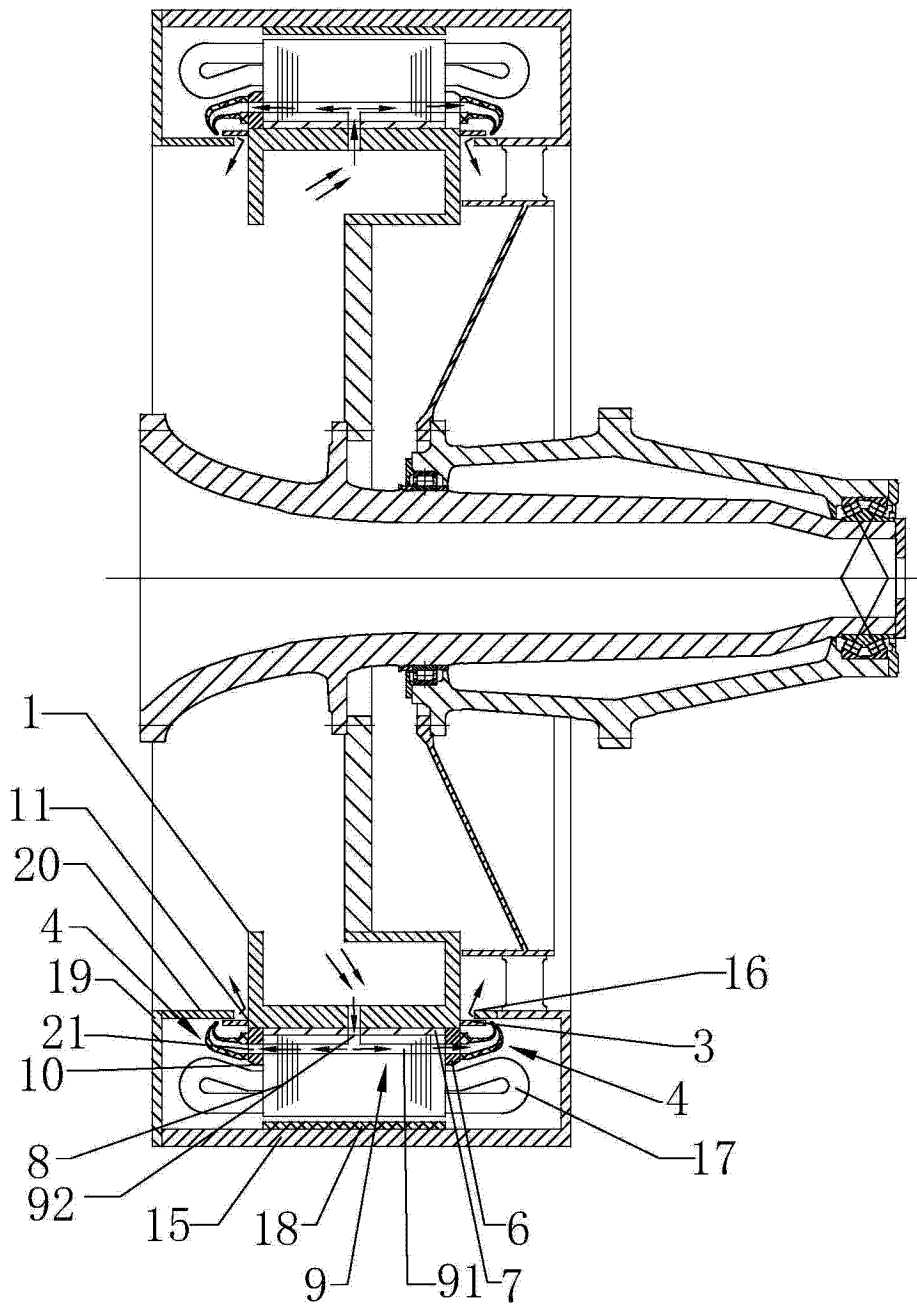


图 8

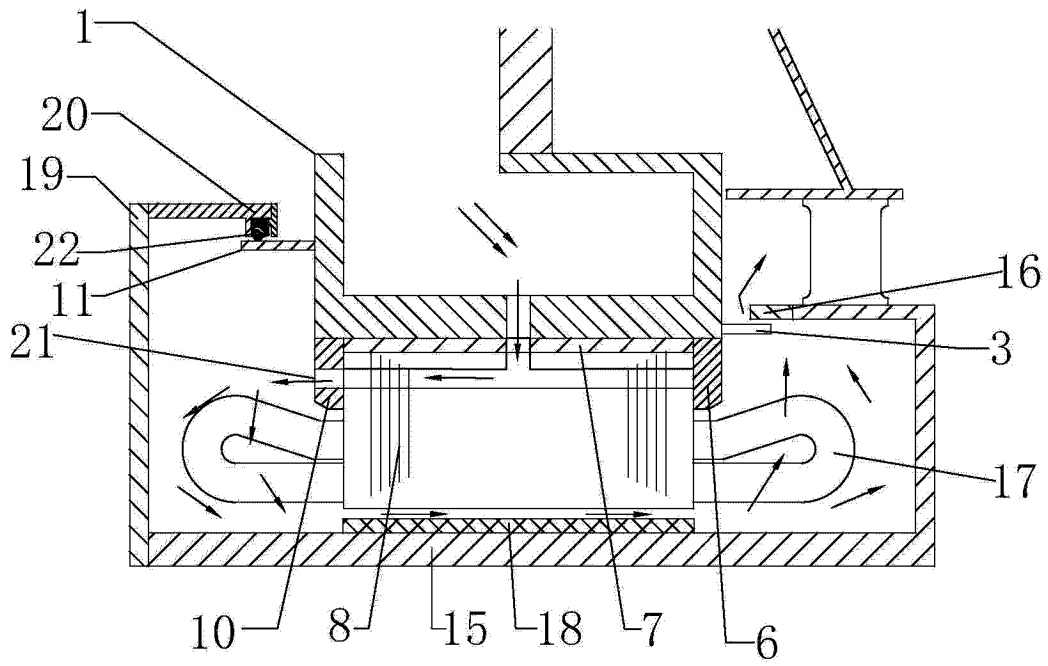


图 9