(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118423240 A
(43)申请公布日 2024.08.02

(21)申请号 202410415873.2

(22)申请日 2024.04.08

(71)申请人 江苏斯维尔建筑设计院有限公司
地址 213399 江苏省常州市溧阳市昆仑街道上上路81号524室

(72)发明人 刘汉龙 孔纲强 胡帅军 陈育民 高学成

(74)专利代理机构 西安正华恒远知识产权代理事务所(普通合伙) 61271
专利代理师 陈选中

(51)Int.Cl.
*F03D 80/40*(2016.01)
*F03D 80/60*(2016.01)
*F03D 1/06*(2006.01)
*F03D 80/80*(2016.01)
*F25B 30/06*(2006.01)

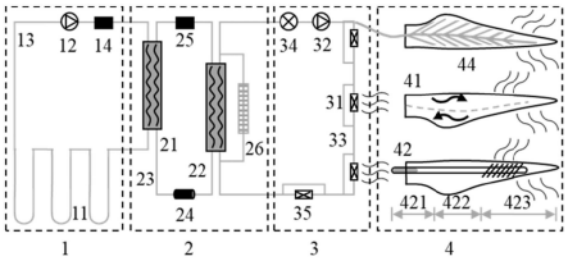
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种能量桩仿生风机叶片除冰装置及其除冰方法

(57)摘要

本发明公开了一种能量桩仿生风机叶片除冰装置及其除冰方法,属于风力发电设备技术领域,解决了现有技术中缺少一种高效节能、无二次污染且不影响叶片安全的除冰装置的问题。本方案通过地热能提取回路中的多个能量桩提取地热能,并利用热泵机组循环回路提高地热能的能量品位,将地热能转化为除冰水,除冰水的热量通过轮毂加热回路传递至风电塔的轮毂中,从而轮毂利用加热空气或高温除冰水的方式通过叶片除冰回路对叶片进行除冰。本方案相较于现有技术中的机械除冰和电热除冰,减少了能量的消耗,降低了风电的运行成本和安全隐患,具有节能增效的效果。且相较于现有技术中的超疏水涂层,本方案除冰效果更加稳定,无二次污染。




CN 118423240 A

1.一种能量桩仿生风机叶片除冰装置,包括风电塔,其特征在于,所述风电塔包括:

地热能提取回路(1),所述地热能提取回路(1)包括位于风电塔地基内的多个能量桩(11);

热泵机组循环回路(2),所述热泵机组循环回路(2)设置在风电塔的塔筒(7)内部,并与地热能提取回路(1)连通,用于提高地热能的能量品位;

轮毂加热回路(3),所述轮毂加热回路(3)设置在所述塔筒(7)、机舱(6)和轮毂(5)的内部,并与热泵机组循环回路(2)连通,用于将地热能传递至风电塔的轮毂(5)中;

叶片除冰回路(4),所述叶片除冰回路(4)设置在风电塔的多个叶片(41)中,并与所述轮毂(5)连通,用于通过地热能加热每片所述叶片(41)。

2.根据权利要求1所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述地热能提取回路(1)还包括位于风电塔地基上的地源侧循环泵(12)和地源侧分集水器(14),所述地源侧循环泵(12)、所述地源侧分集水器(14)和多个所述能量桩(11)通过地源侧水管(13)连通。

3.根据权利要求1所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述热泵机组循环回路(2)包括与所述地热能提取回路(1)连通的蒸发器(21),所述蒸发器(21)分别与压缩机(24)和膨胀阀(25)连通,所述压缩机(24)和所述膨胀阀(25)的另一端均与冷凝器(22)连通,所述冷凝器(22)的出水管与风电辅助热水箱(26)连通。

4.根据权利要求3所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述轮毂加热回路(3)包括与所述冷凝器(22)的出水端连通的除冰侧循环泵(32),所述除冰侧循环泵(32)通过加热水管回路(33)依次与密封滑环(63)、风机盘管组、空调设备(35)和冷凝器(22)的回水端连通;

所述密封滑环设置在机舱(6)内的转子主轴上,所述风机盘管组设置在所述轮毂(5)的内部,所述空调设备(35)固定在所述塔筒的内底部。

5.根据权利要求4所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述密封滑环(63)包括固定在所述机舱(6)内的滑环外圈(631),所述滑环外圈(631)的内圈中旋转设置有滑环内圈(632),所述滑环内圈(632)的内圈固定在机舱(6)中的转子主轴(54)上;

滑环外圈(631)和滑环内圈(632)上均设置有多个导水通道(633),每个所述导水通道(633)的两端均设置有密封圈(634);滑环外圈(631)上的多个导水通道(633)与风机盘管组连通;滑环内圈(632)上的多个导水通道(633)与所述加热水管回路(33)连通。

6.根据权利要求4所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述轮毂(5)中设置有绝热隔板,所述绝热隔板将轮毂(5)分为内舱(51)和外舱(52),所述风机盘管组包括位于所述内舱(51)中的3个风机盘管(31),内舱(51)通过送回风筒(53)分别与所述风电塔上3个叶片(41)连通;

每个所述叶片(41)内部中空设置,每个叶片(41)和每个送回风筒(53)的内部均沿其轴向设置有呈S型的肋板(43),叶片(41)中的肋板(43)将叶片(41)内部分为连通设置的送风腔(415)和回风腔(416);送回风筒(53)中的肋板(43)将其内部分为送风筒(532)和回风筒(533),所述送风腔(415)和所述回风腔(416)分别与所述送风筒(532)和所述回风筒(533)连通;且送风腔(415)和回风腔(416)分别靠近叶片(41)的前缘(411)和后缘(412);

每个所述送回风筒(53)呈圆柱状,且两端开口设置;送回风筒(53)的一端通过轴承

(531)设置在所述绝热隔板上,送回风筒(53)的另一端呈半球状并与所述叶片(41)连通;

送回风筒(53)和叶片(41)的连接处均设置有转动齿轮(417),所述转动齿轮(417)均与位于轮毂(5)内的转向电机(55)上的输出齿轮啮合连接。

7.根据权利要求6所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述叶片除冰回路(4)包括位于所述送风腔(415)中的多根相变热棒(42),每根所述相变热棒(42)的截面自外向内分为三层结构:封闭管道、毛细管芯、空心腔体;相变热棒(42)包括依次连通的吸热段(421)、绝热段(422)和散热段(423);所述吸热段(421)穿过所述送风筒(532)延伸至内舱(51)中,所述散热段(423)延伸至所述叶片(41)内部中靠近叶尖(414)处,且散热段(423)的上设置有多块固定在送风腔(415)内壁上的散热片(424)。

8.根据权利要求6所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置,其特征在于,所述叶片除冰回路(4)包括位于叶片(41)内腔的仿生散热管网(44),所述仿生散热管网(44)设置在叶片(41)内壁的迎风面和背风面上;

仿生散热管网(44)呈叶脉状分布,其包括一个主脉(441),所述主脉(441)与多根侧脉(442)连通,每根所述侧脉(442)上与有多根毛细脉络(443)连通。

9.一种权利要求1~8任一所述的能量桩仿生风机叶片除冰装置的操作方法,其特征在于,包括步骤:

S1、采用地热能提取回路中的多个能量桩提取地热能,并利用热泵机组循环回路将地热能转化为能量品位比其更高的除冰水;

S2、采用轮毂加热回路将除冰水的热量传递至风电塔的轮毂中;

S3、采用叶片除冰回路将轮毂中热量输送至风电塔上每片叶片的内腔中,融化叶片上的冰。

10.根据权利要求9所述的操作方法,其特征在于,所述步骤S3包括以下的任一步骤:

S31、将每片叶片中的内腔分为连通的送风腔和回风腔,并将轮毂中的热量以空气为介质依次传递至送风腔和回风腔中;

S32、将每片叶片中的内腔分为连通的送风腔和回风腔,且在送风腔中设置有至少一根相变热棒,并将轮毂中的热量以相变热棒为介质依次传递至送风腔和回风腔中;

S33、将每片叶片的内腔中设置仿生散热管网,并与轮毂内的加热水管回路连通,将热量以除冰水为介质依次传递至仿生散热管网中。

# 一种能量桩仿生风机叶片除冰装置及其除冰方法

## 技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电设备技术领域,具体涉及一种能量桩仿生风机叶片除冰装置及其除冰方法。

## 背景技术

[0002] 风能是一种可再生的清洁能源,其缓解依赖化石能源、减少环境污染以及防止全球气候变化的作用已经得到了广泛的认知。为了水平轴风力发电机在风荷载下叶片可以绕水平沿一个方向旋转驱动风力涡轮机将风能转化为电能,叶片形状的设计参考鸟类翅膀的原理,风叶厚度从迎风的前缘到后缘逐渐变薄,从叶根到叶尖也逐渐变薄,且迎风面的弧度大于背风面的弧度,以确保迎风面的气压小于背风面的气压从而叶片沿固定方向发生转动。当风力涡轮机处于气候寒冷、湿度高的高空环境下,特别是在冬季或高海拔地区,低温环境下的湿气会在叶片表面结冰。这个情况对风电机组的性能和安全性有着巨大影响。结冰会改变风电机组叶片的空气动力学形状,降低其发电效率,甚至可能导致机组停机。同时,由于冰的重量,会增加叶片负担,可能导致叶片断裂,严重危害风电场的安全。

[0003] 因此,关于风电涡轮机叶片除冰技术,已成为风电领域的重要研究课题。目前这些技术的发展包括但不限于:1)机械除冰:采用机械手段,如振动或撞击以移除冰层。传统的机械除冰技术存在物理损伤、安全问题和维护成本高的问题。传统的除冰刀具对叶片表面会造成一定的划伤、劈裂甚至裂口,长期使用会对叶片寿命产生影响,并对叶片的性能和效率产生不可逆的影响。机械除冰需要使用大功率机器设备,动力消耗相对较大,另外转速太高,还会从物理上对叶片表面施加极大的机械负荷,也带来高能耗问题。2)热风除冰:通过叶片内部的加热元件,如加热线圈,使冰层融化。3)电热除冰:利用电热带或加热膜覆盖在叶片表面,通过电阻发热来防止或除去积冰。但传统的加热除冰过程消耗的能源比较大,会增加风力发电的成本。尤其是在长期低温条件下进行加热除冰,能源损耗会更加严重,使用的电加热线会对设备产生极高的热量和电磁场干扰,存在一定的火灾隐患和安全隐患。4)超疏水涂层:在风机叶片表面应用超疏水材料,从而减少水分附着并形成冰层。在极端降雪寒冷气候条件下,如恶劣的冻雨冻雪情况下,超疏水涂层除冰效果不能完全保证,需导入其他除冰技术来补充,且长期受到风沙的碰撞侵蚀,宜造成涂层刮破或划伤,失效损耗。且掉落的超疏水材料会在特定条件下沉积或结合,形成新的污染物质,导致二次污染。

[0004] 受到技术进步和环境要求的影响,这些技术的效率和成本优化,以及寻找更为环境友好和可持续的解决方案仍是未来的技术发展重心,旨在改善风电叶片的防冰性能,确保风电机组稳定、安全地运行,从而提高风电场的总体经济效益。为此,提出一种高效节能、无二次污染且不影响叶片安全的除冰装置与方法,显得尤为重要。

## 发明内容

[0005] 针对现有技术中的上述问题,本发明提供了一种能量桩仿生风机叶片除冰装置及其除冰方法,解决了现有技术中缺少一种高效节能、无二次污染且不影响叶片安全的除冰

装置的问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 一方面的,一种能量桩仿生风机叶片除冰装置,包括风电塔,其特征在于,风电塔包括:地热能提取回路,地热能提取回路包括位于风电塔地基内的多个能量桩;热泵机组循环回路,热泵机组循环回路设置在风电塔的塔筒内部,并与地热能提取回路连通,用于提高地热能的能量品位;轮毂加热回路,轮毂加热回路设置在塔筒、机舱和轮毂的内部,并与热泵机组循环回路连通,用于将地热能传递至风电塔的轮毂中;叶片除冰回路,叶片除冰回路设置在风电塔的多个叶片中,并与轮毂连通,用于通过地热能加热每片叶片。

[0008] 本方案的工作原理为,通过地热能提取回路中的多个能量桩提取地热能,并利用热泵机组循环回路提高地热能的能量品位,将地热能转化为除冰水,除冰水的热量通过轮毂加热回路传递至风电塔的轮毂中,从而轮毂利用加热空气或高温除冰水的方式通过叶片除冰回路对叶片进行除冰。本方案相较于现有技术中的机械除冰和电热除冰,减少了能量的消耗,降低了风电的运行成本和安全隐患,具有节能增效的效果。且相较于现有技术中的超疏水涂层,本方案除冰效果更加稳定,无二次污染。

[0009] 进一步地,地热能提取回路还包括位于风电塔地基上的地源侧循环泵和地源侧分集水器,地源侧循环泵、地源侧分集水器和多个能量桩通过地源侧水管连通。本方案中,将水或者其他液体作为循环介质,循环介质在地源侧循环泵的作用下进入能量桩中的换热管,由于地下温度相对恒定且高于处于冬季中的风电塔的地表温度,循环介质吸收位于地下浅层的地热能,并将地热能带回地源侧分集水器中,从而完成地热能的提取。

[0010] 进一步地,热泵机组循环回路包括与地热能提取回路连通的蒸发器,蒸发器分别与压缩机和膨胀阀连通,压缩机和膨胀阀的另一端均与冷凝器连通,冷凝器的出水管与风电辅助热水箱连通。本方案中,采用蒸发器、冷凝器、压缩机、膨胀阀完成逆卡诺循环,将低品位的地热能转化为高品位的除冰水。同时可以通过温度检测器检测除冰水在冷凝器完成冷凝散热过程后的温度,若除冰水温度无法满足除冰需求时,可启动风电辅助热水箱,采用风电塔产生的电量作为风电辅助热水箱的电源以加热除冰水。

[0011] 进一步地,轮毂加热回路包括与冷凝器的出水端连通的除冰侧循环泵,除冰侧循环泵通过加热水管回路依次与密封滑环、风机盘管组、空调设备和冷凝器的回水端连通;密封滑环设置在机舱内的转子主轴上,风机盘管组设置在内舱的内部,空调设备固定在塔筒的内底部。塔筒顶部偏航平台段的加热水管回路宜应采用软管,便于机舱转向过程中同步旋转,保证加热水管回路的连通。本方案中,轮毂加热回路将除冰水的热量传递至轮毂中,并完成除冰水的回收。

[0012] 进一步地,密封滑环包括固定在机舱内的滑环外圈,滑环外圈的内圈中旋转设置有滑环内圈,滑环内圈的内圈固定在机舱中的转子主轴上;滑环外圈和滑环内圈上均设置有多个导水通道,每个导水通道的两端均设置有密封圈;滑环外圈上的多个导水通道与风机盘管组连通;滑环内圈上的多个导水通道与加热水管回路连通。本方案中,密封滑环的设置实现了轮毂在自由旋转过程中除冰水的循环流通,导水通道的数量可以适当调整以满足除冰水的流量、压力需求。

[0013] 进一步地,轮毂中设置有绝热隔板,绝热隔板将轮毂分为内舱和外舱,风机盘管组包括位于内舱中的3个风机盘管,内舱通过送回风筒分别与风电塔上3个叶片连通;每个叶

片内部中空设置,每个叶片和每个送回风筒的内部均沿其轴向设置有呈S型的肋板,叶片中的肋板将叶片内部分为连通设置的送风腔和回风腔;送回风筒中的肋板将其内部分为送风筒和回风筒,送风腔和回风腔分别与送风筒和回风筒连通;且送风腔和回风腔分别靠近叶片的前缘和后缘。每个送回风筒呈圆柱状,且两端开口设置;送回风筒的一端通过轴承设置在绝热隔板上,送回风筒的另一端呈半球状并与叶片的叶根处连通;送回风筒和叶片的连接处均设置有转动齿轮,转动齿轮均与位于轮毂内的转向电机上的输出齿轮啮合连接。由于每片叶片安装在轮毂上的角度需要根据当地的风向和风速进行实时调整,以最大化地获取风力资源,从而本方案的送回风筒与叶片同时与转向电机上的输出齿轮啮合连接,保证了送风筒与送风腔、回风筒与回风腔能够始终保持连通,确保热量的循环。

[0014] 本方案中,风机盘管的设置便于除冰水的热量更好散发至轮毂的空气中,使轮毂中形成热空气,热空气经送风筒进入送风腔中,热空气与送风腔壁体上的冰进行热交换变为冷空气,冷空气经回风腔通过回风筒从外舱排出,完成热量的传递循环并对叶片前缘上的冰进行有效去除。肋板呈S型设置可以优化叶片内送风腔和回风腔的体积,且肋板上的圆角化处理可同时避免棱角对叶片内风场的干扰,降低气流引起的风机叶片振动。

[0015] 进一步地,叶片除冰回路包括位于送风腔中的多根相变热棒,每根相变热棒包括依次连通的吸热段、绝热段和散热段;吸热段穿过送风筒延伸至内舱中,散热段延伸至叶片内部中靠近叶尖处,且散热段的上设置有多块固定在送风腔内壁上的散热片。相变热棒的截面自外向内分为三层结构:封闭管道、毛细管芯、空心腔体。本方案中,吸热段内有可发生相变的液氨、丙酮或氟利昂热敏材料,吸热段内的热敏材料在吸热后发生气化成气态,并迁移到散热段中。散热段的热量被附着在叶尖表层的冰层吸收后,散热段内部的热敏材料凝结成液态再借助其中毛细管芯内的毛细力克服重力迁移回到吸热段中,相变热棒的设置利于轮毂和叶片内的热量传递。

[0016] 进一步地,叶片除冰回路包括位于叶片内腔的仿生散热管网,仿生散热管网设置在叶片内壁的迎风面和背风面上;仿生散热管网呈叶脉状分布,其包括一个主脉,主脉与多根侧脉连通,每根侧脉上与有多根毛细脉络连通。仿生散热管网呈叶脉状结构能够更均匀地分布冷却液或空气等传热介质,确保整个散热过程更加均衡有效,避免局部过热或冷却不均的现象,使叶脉结构具有良好的力学性能以及在保证结构稳定性和强度的同时,减轻了重量。

[0017] 另一方面的,提供一种能量桩仿生风机叶片除冰装置的操作方法,其包括步骤:

[0018] S1、采用地热能提取回路中的多个能量桩提取地热能,并利用热泵机组循环回路将地热能转化为能量品位比其更高的除冰水;

[0019] S2、采用轮毂加热回路将除冰水的热量传递至风电塔的轮毂中;

[0020] S3、采用叶片除冰回路将轮毂中热量输送至风电塔上每片叶片的内腔中,融化叶片上的冰。

[0021] 进一步地,述步骤S3包括以下的任一步骤:

[0022] S31、将每片叶片中的内腔分为连通的送风腔和回风腔,并将轮毂中的热量以空气为介质依次传递至送风腔和回风腔中;

[0023] S32、将每片叶片中的内腔分为连通的送风腔和回风腔,且在送风腔中设置有至少一根相变热棒,并将轮毂中的热量以相变热棒为介质依次传递至送风腔和回风腔中;

[0024] S33、将每片叶片的内腔中设置仿生散热管网,并与轮毂内的加热水管回路连通,将热量以除冰水为介质依次传递至仿生散热管网中。

[0025] 本发明公开了一种能量桩仿生风机叶片除冰装置及其操作方法,其有益效果为:

[0026] 1、本方案利用地热能形成热空气对叶片进行除冰,相较于现有技术中的机械除冰和电热除冰,减少了能量的消耗,降低了风电的运行成本和安全隐患,具有节能增效的效果。

[0027] 2、本方案采用清洁的浅层地热能,不需要使用电力能源或化学药品,相较于现有技术中的超疏水涂层,本方案除冰效果更加稳定,且完全不会对环境产生二次污染,对环境友好。

[0028] 3、本方案通过密封滑环和送回风筒的设置,实现了轮毂、叶片在自由旋转过程中除冰水的循环流通,改善了现有的地热能除冰装置技术中,机舱、轮毂、叶片自由旋转过程中水管的扭曲打结的难题,避免了现有技术中叶片内布管对叶片带来附加荷载,且不会对叶片造成损害,避免了机械振动和撞击对叶片造成的损伤。

## 附图说明

[0029] 图1为能量桩仿生风机叶片除冰装置的原理图;

[0030] 图2为叶片除冰装置的结构示意图;

[0031] 图3为供水竖管与塔筒固定的结构示意图;

[0032] 图4为供水竖管与塔筒固定的俯视示意图。

[0033] 图5为机舱与轮毂的连接示意图。

[0034] 图6为密封滑环的半剖示意图。

[0035] 图7为轮毂与送回风筒的结构示意图。

[0036] 图8为送回风筒与叶片的连接示意图。

[0037] 图9为轮毂与叶片的连接示意图。

[0038] 图10为叶片的示意图。

[0039] 图11为叶片的截面示意图。

[0040] 图12为仿生散热管网的示意图。

[0041] 其中:1、地热能提取回路;11、能量桩;12、地源侧循环泵;13、地源侧水管;131、地源侧供水管;132、地源侧回水管;14、地源侧分集水器;

[0042] 2、热泵机组循环回路;21、蒸发器;22、冷凝器;23、热泵回路水管;24、压缩机;25、膨胀阀;26、风电辅助热水箱;

[0043] 3、轮毂加热回路;31、风机盘管;32、除冰侧循环泵;33、加热水管回路;3311、供水竖管;3312、回水竖管;3321、供水软管;3322、回水软管;3331、供水副管;3332、回水副管;34、流量阀;35、空调设备;

[0044] 4、叶片除冰回路;41、叶片;411、前缘;412、后缘;413、叶根;414、叶尖;415、送风腔;416、回风腔;417、转动齿轮;42、相变热棒;421、吸热段;422、绝热段、423、散热段;424、散热肋板;43、肋板;44、仿生散热管网;441、主脉;442、侧脉;443、毛细脉络;

[0045] 5、轮毂;51、内舱;52、外舱;53、送回风筒;531、轴承;532、送风筒;533、回风筒;54、转子主轴;55、转向电机;

[0046] 6、机舱;61、机舱底座;62、机舱壳体、63、密封滑环;631、滑环外圈;632、滑环内圈;633、导水通道;634、密封圈;

[0047] 7、塔筒;71、变电所;72、支撑件;73、卡扣;

## 具体实施方式

[0048] 下面对本发明的具体实施方式进行描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

[0049] 实施例1

[0050] 参考图1～图12,本实施例一种能量桩仿生风机叶片除冰装置,包括风电塔,风电塔包括地热能提取回路1、热泵机组循环回路2、轮毂加热回路3和叶片除冰回路4。

[0051] 具体地,地热能提取回路1用于提取地热能,其包括多个能量桩11、地源侧循环泵12、地源侧水管13和地源侧分集水器14。

[0052] 参考图1和图2,多个能量桩11均固定电塔地基的内部,用于提取地热能。地源侧循环泵12和地源侧分集水器14设置在风电塔地基上,地源侧循环泵12、地源侧分集水器14和多个能量桩11通过地源侧水管13连通。地源侧水管13包括分别与能量桩11的出水口和进水口连通的地源侧供水管131和地源侧回水管132。

[0053] 在地热能提取回路1中,将水或者其他液体作为循环介质,循环介质在地源侧循环泵12的作用下进入能量桩11中的换热管,由于地下温度相对恒定且高于处于冬季中的风电塔的地表温度,循环介质吸收位于地下浅层的地热能,并将地热能带回地源侧分集水器14中,从而完成地热能的提取。

[0054] 具体地,热泵机组循环回路2设置在风电塔的塔筒7、机舱6和轮毂5的内部,并与地热能提取回路1连通,用于提高地热能的能量品位。

[0055] 参考图1和图2,热泵机组循环回路2包括蒸发器21、冷凝器22、热泵回路水管23、压缩机24、膨胀阀25和风电辅助热水箱26。蒸发器21一侧的进水口和出水口分别与地源侧分集水器14和能量桩11进水口连通的;蒸发器21另一侧的进水口和出水口分别与压缩机24和膨胀阀25连通。压缩机24和膨胀阀25的另一端均与冷凝器22连通,冷凝器22的出水管与风电辅助热水箱26连通,风电辅助热水箱26与位于塔筒7内壁中的电池电连接。

[0056] 在热泵机组循环回路2中,采用蒸发器21、冷凝器22、压缩机24、膨胀阀25完成逆卡诺循环,将低品位的地热能转化为高品位的除冰水。同时可以在冷凝器22出水管上安装温度检测器,温度检测器用于检测除冰水在冷凝器22完成冷凝散热过程后的温度,若除冰水温度无法满足除冰需求时,可启动风电辅助热水箱26,采用风电塔产生的电量作为风电辅助热水箱26的电源以加热除冰水。

[0057] 具体地,轮毂加热回路3设置在塔筒7的内壁上,并与热泵机组循环回路2连通,轮毂加热回路3用于将除冰水的热量传递至轮毂5中,并完成除冰水的回收。

[0058] 参考图1和图2,轮毂加热回路3包括与冷凝器22的出水管连通的除冰侧循环泵32,除冰侧循环泵32通过加热水管回路33与密封滑环63、风机盘管组、空调设备35和冷凝器22的回水端连通;密封滑环设置在机舱6内的转子主轴54上,风机盘管组设置在内舱51的内

部,空调设备35固定在塔筒7的内底部。风机盘管组的3个风机盘管31之间为并联,同时轮毂加热回路3上并联有用于塔筒变电所71供暖和制冷的空调设备35。

[0059] 具体地,叶片除冰回路4设置在风电塔的多个叶片41中,并与轮毂5连通,用于通过地热能加热每片叶片41。

[0060] 本实施例的工作原理为,通过地热能提取回路1中的多个能量桩11提取地热能,并利用热泵机组循环回路2提高地热能的能量品位,将地热能转化为除冰水,除冰水的热量通过轮毂加热回路3传递至风电塔的轮毂5中,从而轮毂5利用加热空气的方式通过叶片除冰回路4对叶片41进行除冰。本方案相较于现有技术中的机械除冰和电热除冰,减少了能量的消耗,降低了风电的运行成本和安全隐患,具有节能增效的效果。且相较于现有技术中的超疏水涂层,本方案除冰效果更加稳定,无二次污染。

[0061] 作为本实施例的进一步方案,参考图5～图6,密封滑环63包括固定在机舱6内的滑环外圈631,滑环外圈631的内圈中旋转设置有滑环内圈632,滑环内圈632的内圈固定在机舱6壳体62中的转子主轴54上;滑环外圈631和滑环内圈632上均设置有多个导水通道633,每个导水通道633的两端均设置有密封圈634;滑环外圈631上的多个导水通道633与风机盘管组连通;滑环内圈632上的多个导水通道633与加热水管回路33连通。本方案中,密封滑环63的设置实现了轮毂5在自由旋转过程中除冰水的循环流通,导水通道633的数量可以适当调整以满足除冰水的流量、压力需求。

[0062] 作为本实施例的进一步方案,加热水管回路33包括供水竖管3311、回水竖管3312、供水软管3321、回水软管3322、供水副管3331、回水副管3332。供水竖管3311和回水竖管3312分别沿竖直方向固定在塔筒7的内壁上,供水竖管3311和回水竖管3312的一端分别与除冰侧循环泵32和空调盘管74连通,供水竖管3311和回水竖管3312的另一端分别与供水软管3321和回水软管3322连通,供水软管3321和回水软管3322分别与滑环外圈631和滑环内圈632上的导水通道633连通。导水通道633的另一端与供水副管3331和回水副管3332连通,供水副管3331的出水口和回水副管3332的进水口分别与风机盘管31连通。供水软管3321和回水软管3322的设置可以便于机舱6转向过程中同步旋转,保证加热水管回路33的连通。

[0063] 优选地,本实施中的供水竖管3311和回水竖管3312为镀锌钢管,从塔筒7底部延伸至塔筒7顶部偏航平台段,且供水竖管3311和回水竖管3312的管壁上设置有材质为发泡聚氨酯保温材料的保温层。参考图3～图4,塔筒7内壁沿竖直方向每隔1～2m设置有呈三角形状的支撑件72,供水竖管3311和回水竖管3312卡扣73或者管束固定在多个支撑件72上。

[0064] 优选地,本实施例中供水软管3321和回水软管3322材料为聚乙烯管,且外壁上设置有橡胶层以提高保温效果。

[0065] 作为本实施例的进一步方案,固定在塔筒7内底部上的变电所71内包括有并联在加热水管回路33上的空调设备35,空调设备35可以在夏天制冷,冬天供暖,从而保证变电所71可以正常工作。

[0066] 作为本实施例的进一步方案,轮毂5中设置有绝热隔板,绝热隔板的厚度为100～300mm,绝热隔板将轮毂5分为内舱51和外舱52,内舱51的温度高于外舱52的温度。

[0067] 参考图2,风机盘管组包括位于内舱51中的3个风机盘管31,3个风机盘管31分别通过送回风筒53与风电塔上3个叶片41连通;每个叶片41内部中空设置,每个叶片41和每个送回风筒53的内部均沿其轴向设置有呈S型的肋板43,肋板43的厚度为10～30mm。叶片41中的

肋板43将叶片41内部分为连通设置的送风腔415和回风腔416;送回风筒53中的肋板43将其内部分为送风筒532和回风筒533,送风腔415和回风腔416分别与送风筒532和回风筒533连通;且送风腔415和回风腔416分别靠近叶片41的前缘411和后缘412。肋板43呈S型的设置可以优化风机叶片41内送风腔415和回风腔416的体积,肋板43上的圆角化处理可同时避免棱角对风机叶片41内风场的干扰,降低气流引起的风机叶片41振动。

[0068] 本方案中,风机盘管31便于除冰水的热量更好散发至内舱51的空气中,使内舱51中形成热空气,热空气经送风筒532进入送风腔415中,热空气与送风腔415壁体上的冰进行热交换变为冷空气,冷空气经回风腔416通过回风筒533进入外舱52排出大气,完成热量的传递循环并对叶片41前缘411上的冰进行有效去除。

[0069] 作为送回风筒53的进一步结构,参考图7～图9,每个送回风筒53呈圆柱状,且两端开口设置。送回风筒53的一端通过轴承531设置在绝热隔板上,送回风筒53的另一端呈半球状并与叶片41的叶根413连通;送回风筒53和叶片41的连接处上均设置有转动齿轮417,两个转动齿轮417均与位于轮毂5内的转向电机55上的输出齿轮啮合连接。本方案中,由于每片叶片41安装在轮毂5上的角度需要根据当地的风况进行调整,以最大化地获取风力资源,从而本方案的送回风筒53与叶片41同时与转向电机55上的输出齿轮啮合连接,保证了送风筒532与送风腔415、回风筒533和回风腔416能够始终保持连通,确保热量的循环。

[0070] 具体地,叶片除冰回路4包括固定在送风腔415中的多根相变热棒42,每根相变热棒42的长度为50～80cm,且同时贯穿送风腔415、送风筒532和轮毂5内舱51。

[0071] 参考图9～图11,每根相变热棒42包括依次连通的吸热段421、绝热段422和散热段423;相变热棒42的截面自外向内可分为三层结构:封闭管道、毛细管芯、空心腔体。吸热段421穿过送风筒532延伸至内舱51中,散热段423延伸至叶片41内部中靠近叶尖414处,且散热段423的上设置有多块固定在送风腔415内壁上的散热片424,每片散热肋板424均倾斜设置在叶片41的内壁上。

[0072] 本实施例中,吸热段421内有可发生相变的液氨、丙酮或氟利昂热敏材料,吸热段421内的热敏材料在吸热后发生气化成气态,并迁移到散热段423中。散热段423的热量被附着在叶尖414表层的冰层吸收后,散热段423内部的热敏材料凝结成液态再借助其中毛细管芯内的毛细力克服重力迁移回到吸热段421中,相变热棒42的设置利于轮毂5中热量的传递。

[0073] 作为本实施例的另一种方案,参考图12,叶片除冰回路4包括仿生散热管网44,仿生散热管网44设置在叶片41内壁的迎风面和背风面上。仿生散热管网44的材质为同轴双管、微型单U管,呈叶脉状分布,其包括一个主脉441,主脉441与多根侧脉442连通,每根侧脉442上连通设置有多根毛细脉络443。

[0074] 实施例2

[0075] 本实施例是在实施例1的基础上做出进一步限定,具体改进点在于如何基于能量桩仿生风机叶片除冰装置进行除冰操作,其他未提及部分参照实施例1或者现有技术。

[0076] 本实施例提供一种能量桩仿生风机叶片除冰装置的操作方法,其包括步骤:

[0077] S1、采用地热能提取回路1中的多个能量桩11提取地热能,并利用热泵机组循环回路2将地热能转化为能量品位比其更高的除冰水。

[0078] 具体地,在热泵机组循环回路2中,采用蒸发器21、冷凝器22、压缩机24、膨胀阀25

完成逆卡诺循环,将低品位的地热能转化为高品位的除冰水。

[0079] S2、采用轮毂加热回路3将除冰水的热量传递至风电塔的轮毂5中。

[0080] 具体地,除冰侧循环泵32将携带高品位热量的除冰水沿供水竖管3311送至塔筒7顶部偏航平台段的供水软管3321中,供水软管3321穿过机舱底座61,并将除冰水输送至机舱6密封滑环63中,避免机舱6和轮毂5自由旋转过程中水管的扭曲打结现象。

[0081] 除冰水分别通过密封滑环63上滑环外圈631的导水通道633后,并通过供水副管3331流入轮毂5的内舱51中;并连接到风机盘管31上对内舱51实现供暖,供暖后除冰水的温度降低,依次沿回水副管3332、回水软管3322回水竖管3312回到冷凝器22中。

[0082] S3、采用叶片除冰回路4将轮毂5中热量输送至风电塔上每片叶片41的内腔中,融化叶片41上的冰。

[0083] 作为本实施例的进一步方案,述步骤S3包括以下的任一步骤:

[0084] S31、将每片叶片41中的内腔分为连通的送风腔415和回风腔416,并将内舱51中的热量以空气为介质依次传递至送风腔415和回风腔416中。

[0085] S32、将每片叶片41中的内腔分为连通的送风腔415和回风腔416,且在送风腔415中设置有至少一根相变热棒42,并将内舱51中的热量以相变热棒42为介质依次传递至送风腔415和回风腔416中。

[0086] S33、将每片叶片41的内腔中设置仿生散热管网44,并将加热水管回路33中的热量以除冰水为介质依次传递至仿生散热管网44中。仿生散热管网44的设置可以将热量扩散至叶片41的迎风面和背风面的每一处角落,最终流回内舱51的回水副管3332中,依次沿回水软管3322回水竖管3312回到冷凝器22中。

[0087] 步骤33中,仿生散热管网44呈叶脉状结构能够更均匀地分布冷却液或空气等传热介质,确保整个散热过程更加均衡有效,避免局部过热或冷却不均的现象,使叶脉结构具有良好的力学性能以及在保证结构稳定性和强度的同时,减轻了重量。

[0088] 虽然结合附图对发明的具体实施方式进行了详细地描述,但不应理解为对本专利的保护范围的限定。在权利要求书所描述的范围内,本领域技术人员不经创造性劳动即可做出的各种修改和变形仍属本专利的保护范围。

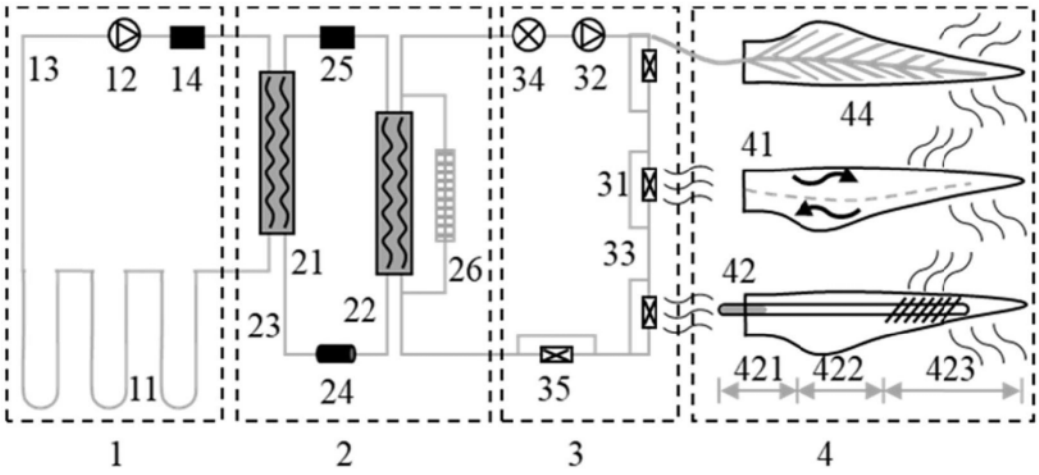



图1

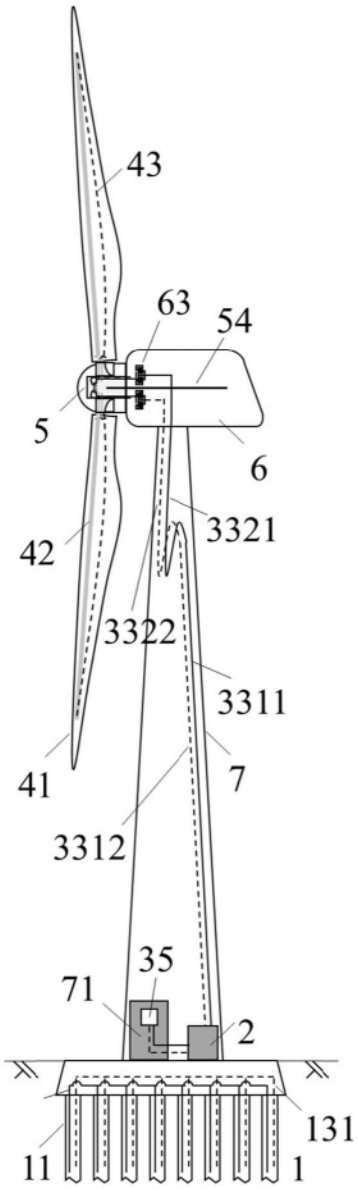

43
63
54
5
6
42
3321
3322
3311
41
7
3312
35
71
2
131
11
1

图2

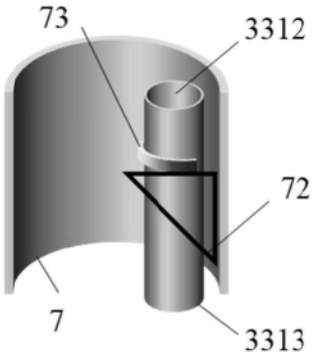

73
3312
72
7
3313

图3

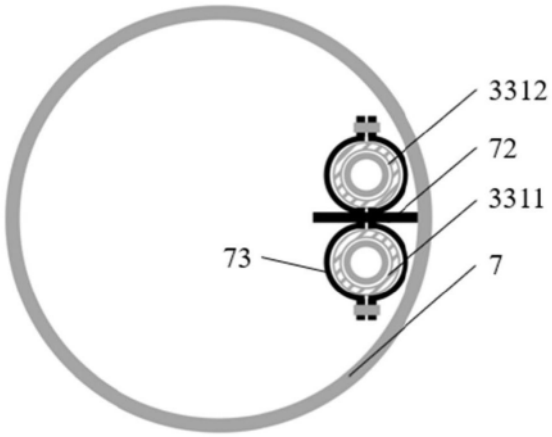

3312
72
3311
73
7

图4

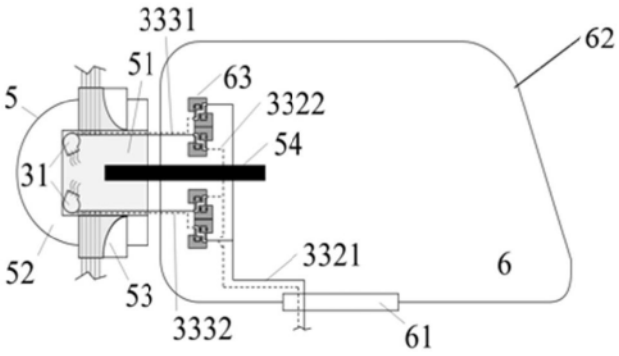

3331
62
51
63
5
3322
54
31
3321
6
52
53
3332
61

图5

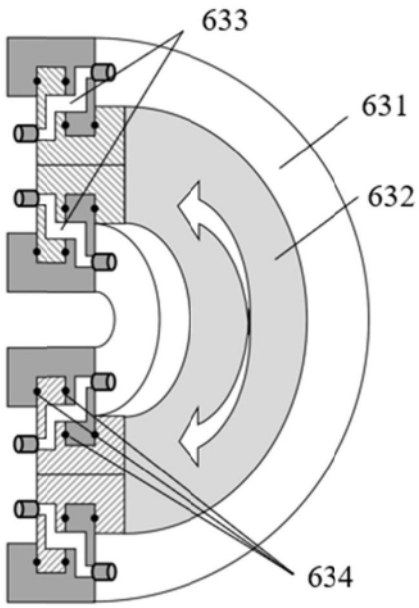

633
631
632
634

图6

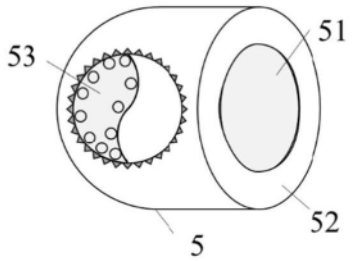



图7

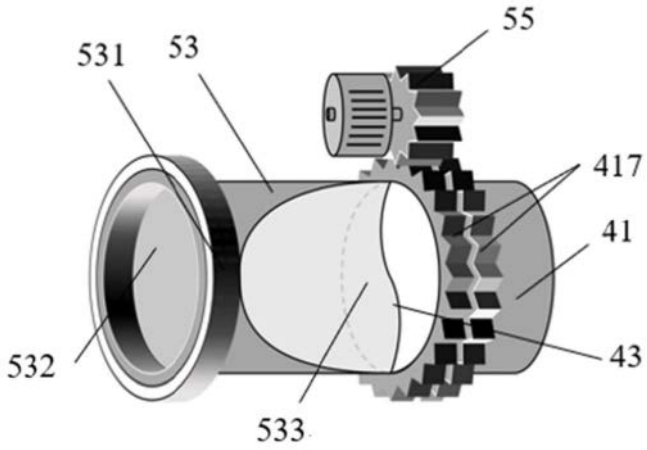



图8

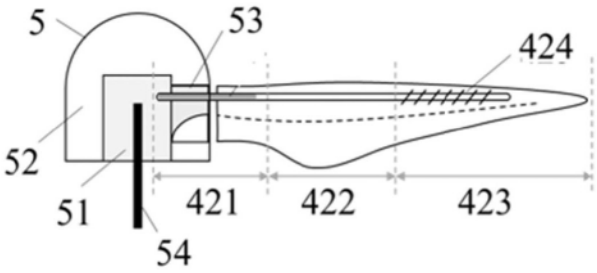



图9

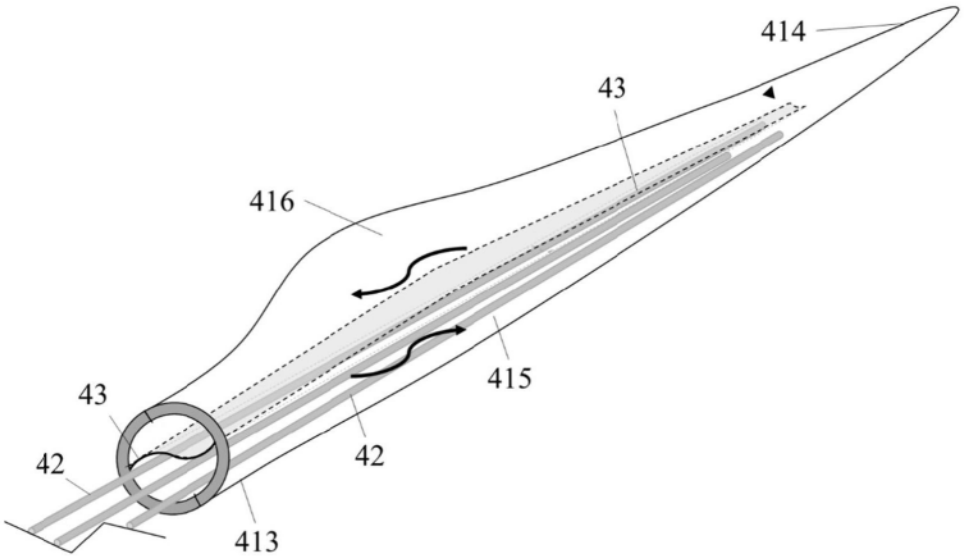



图10

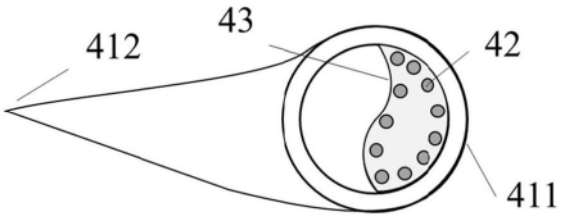



图11

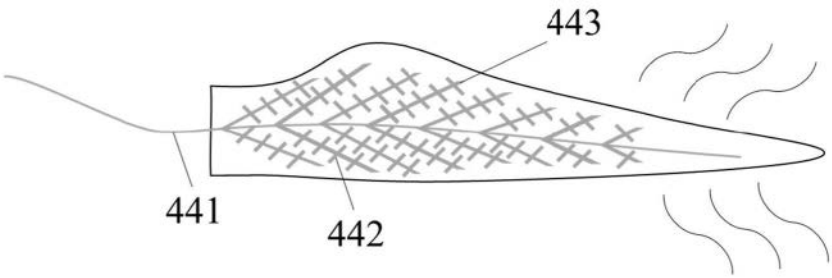



图12