



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115929547 A

(43) 申请公布日 2023. 04. 07

(21) 申请号 202211219127.3

(22) 申请日 2022.09.30

(30) 优先权数据

21382892.4 2021.10.04 EP

(71) 申请人 通用电气可再生能源西班牙有限公司

地址 西班牙巴塞罗那

(72) 发明人 D·J·丹尼尔森 M·卡纳尔维拉

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 吴俊 杨忠

(51) Int. Cl.

F03D 7/02 (2006.01)

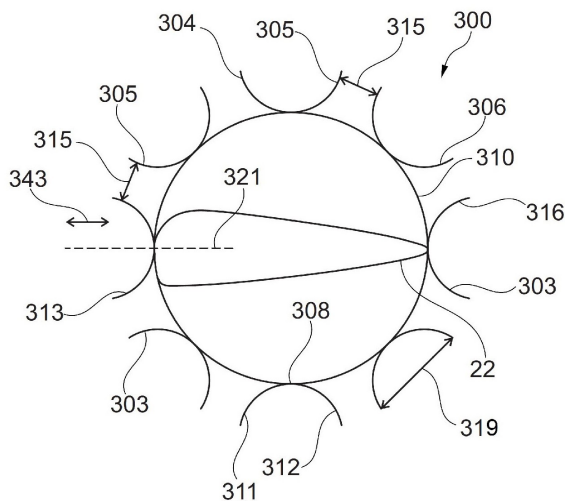
权利要求书1页 说明书14页 附图9页

(54) 发明名称

用于减轻风力涡轮中的振动的装置和方法

(57) 摘要

本公开涉及用于风力涡轮叶片的装置和用于减少风力涡轮中的振动的方法。更具体而言，本公开涉及用于减轻涡流引起的振动和失速引起的振动的装置、包括此类装置的风力涡轮叶片，以及用于当风力涡轮被停放时（尤其是在风力涡轮安置和/或维护期间）减少风力涡轮振动的方法。装置构造成围绕风力涡轮叶片布置，并且包括三个或更多个空气流修改元件，其包括构造成远离风力涡轮叶片面向的凹形外表面。装置还包括构造成支承多个空气流修改元件的支承结构。相邻的空气流修改元件之间的角距离在截面中为大致上恒定的。



1. 一种用于减轻停放的风力涡轮(10)的振动的装置(300),其构造成围绕风力涡轮叶片(22)布置,

其中所述振动减轻装置(300)具有沿着纵向方向(345)的长度(340)和大致上垂直于所述纵向方向(345)的截面,所述截面包括径向方向(343)和切向方向(342);

所述装置(300)包括三个或更多个空气流修改元件(305),所述三个或更多个空气流修改元件(305)包括构造成远离所述风力涡轮叶片(22)面向的凹形外表面(323);

所述装置(300)还包括支承结构(310),所述支承结构(310)构造成支承所述多个空气流修改元件(305);其中

相邻的空气流修改元件(305)之间的角距离(307)在截面中为大致上恒定的。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述空气流修改元件(305)的内表面(324)为凸形的。

3. 根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,装置(300)的所有所述空气流修改元件(305)在截面中具有大致上相同的形状和大小。

4. 根据权利要求1-3中的任何所述的装置,其中,所述空气流修改元件(305)接触相邻的空气流修改元件(305)。

5. 根据权利要求4所述的装置,其中,第一空气流修改元件的外端部(306)和第二相邻空气流修改元件的外端部(316)由切向气隙(317)分离。

6. 根据权利要求1-3中的任何所述的装置,其中,所述空气流修改元件(305)通过切向空气空间(315)与相邻的空气流修改元件(305)完全地分离。

7. 根据权利要求1-6中的任何所述的装置,其中,第一空气流修改元件(325)构造成布置在所述风力涡轮叶片(22)的前缘(260)前面,并且其中,第二空气流修改元件(326)构造成布置在所述风力涡轮叶片(22)的后缘(270)后面。

8. 根据权利要求1-7中的任何所述的装置,其中,至少一个或多个空气流修改元件(305)的径向对称轴线(321)在截面中位于与对应的局部径向方向(343)不同的方向上。

9. 根据权利要求1-8中的任何所述的装置,其中,所述装置(300)构造成当所述装置(300)安装于所述叶片(22)时,提供一个或多个空气流修改元件(305)与所述风力涡轮叶片(22)的局部表面之间的径向间隙(314)。

10. 根据权利要求1-9中的任何所述的装置,其中,支承结构(310)包括末端支承件(339)和根部支承件(337),所述末端支承件(339)构造成比所述根部支承件(339)更靠近叶片末端(220)。

## 用于减轻风力涡轮中的振动的装置和方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及用于风力涡轮叶片的装置和用于减少风力涡轮中的振动的方法。更具体而言,本公开涉及用于减轻涡流引起的振动和失速引起的振动的装置、包括此类装置的风力涡轮叶片,以及用于当风力涡轮被停放时(尤其是在风力涡轮安置和/或维护期间)减少风力涡轮振动的方法。

### 背景技术

[0002] 现代风力涡轮通常用于将电供应到电力电网中。该类型的风力涡轮大体上包括塔架和布置在塔架上的转子。转子(其典型地包括毂和多个叶片)设定成在风对叶片的影响之下旋转。所述旋转生成扭矩,该扭矩正常地直接地(“直接地驱动”或“无齿轮”)或通过齿轮箱的使用传输穿过转子轴至发电机。这样,发电机产生可供应至电力电网的电。

[0003] 风力涡轮毂可以可旋转地联接于机舱的前部。风力涡轮毂可连接于转子轴,并且转子轴可接着使用一个或多个转子轴轴承可旋转地安装在机舱中,该一个或多个转子轴轴承布置在机舱内的框架中。机舱为布置在风力涡轮塔架的顶部上的壳体,其可容纳并保护齿轮箱(如果存在)和发电机(如果未放置在机舱外侧),以及取决于风力涡轮,诸如功率转换器和辅助系统的另外的构件。

[0004] 存在使风力涡轮叶片越来越长的趋势,以捕获更多的风,并且将风能转换成电。这使叶片更加柔性并且更易于叶片的振动。过度振动的风力涡轮叶片可受到损坏。转子叶片的振动还可导致整个风力涡轮结构振荡(例如,前后振荡或横向振荡)。由于过度的应力,故风力涡轮叶片中的振动还可损坏风力涡轮的其它构件。

[0005] 当风力涡轮在操作中(即,产生能量并连接于电力电网)时,风力涡轮控制器可操作辅助驱动系统(诸如俯仰系统或偏航系统),以减少或改变叶片上的负载。这样,可抵制叶片的振动。然而,在风力涡轮被停放并且与电网断开连接时的情形下,振动问题也可严重的。

[0006] 当风力涡轮被停放时,风可从不正常方向(即,与正常操作时不同)吹动抵靠风力涡轮。围绕风力涡轮的空气流可使风力涡轮振动。振动可使一个或多个风力涡轮构件受应力并且甚至损坏该一个或多个风力涡轮构件,这可损害风力涡轮的性能,增加维修需要,并且缩减风力涡轮的使用寿命。由于风力涡轮叶片的方位不可例如通过偏航和/或俯仰来适应于引入风的方向(与当风力涡轮操作时相反),故相比于当风力涡轮正常操作并且产生能量时,当风力涡轮被停放时,振动的影响可为更大或不同的。

[0007] 具体而言,当风力涡轮正在安置或试车时,这一切可适用。例如,可发生的是,安置不完整的转子(例如,具有总共三个叶片中的单个叶片或两个叶片的转子)。其余的叶片可不被安置,直到几天或一周之后。同时,部分安置(或“不完整”)的转子可处于停滞。转子可或不可被锁定,并且风力涡轮可暴露于变化的风条件。如果风力涡轮在若干小时、若干天或若干周期间停止(例如,出于维护原因),则这一切可同样适用。具体取决于风向,风力涡轮叶片可在这些条件中的任何下开始振动。

## 发明内容

[0008] 在本公开的方面中,提供一种用于减轻停放的风力涡轮的振动的装置。装置构造成围绕风力涡轮叶片布置。振动减轻装置具有沿着纵向方向的长度和大致上垂直于纵向方向的截面。截面包括径向方向和切向方向。装置包括三个或更多个空气流修改元件,其包括构造成远离风力涡轮叶片面向的凹形外表面。装置还包括构造成支承多个空气流修改元件的支承结构。相邻的空气流修改元件之间的角距离在截面中为大致上恒定的。

[0009] 根据该方面,具有适合于增加振动减轻装置的阻力的形状的三个或更多个空气流修改元件可布置成使得相邻空气流修改元件之间的角距离为大致上相同的。当围绕风力涡轮叶片安装并且风从不同方向吹动时,这可帮助稳定振动减轻装置。可避免或至少减少由从不同方向吹动的风引起的非期望的行为和不稳定性。装置对来自不同方向的阵风的响应可为更加均一的。因此,可更加有效地阻尼风力涡轮振动。

[0010] 遍及本公开,空气流修改元件可理解为元件,该元件构造成围绕风力涡轮叶片显著地扰乱空气流,例如,其量级和/或其方向。具体而言,空气流修改元件可构造成在空气流到达风力涡轮叶片的局部表面之前,显著地扰乱空气流。例如,在大致上垂直于叶片的长度的方向上朝向局部叶片表面移动的空气流或空气流的分量可遇到空气流修改元件。空气流修改元件可构造成增加振荡中的阻力。

[0011] 遍及本公开,角距离可理解为截面中的两条假想线之间的角,该两条假想线连结振动减轻装置的(几何)中心和两个相邻空气流修改元件。

[0012] 遍及本公开,用语“停滞”和“停放”可互换地使用,并且可理解为其中风力涡轮不产生电并且转子大致上停滞的情况。转子可或不可锁定成处于停滞。例如,风力涡轮可在安置和/或试车期间停放或处于停滞。例如出于正常操作(即,产生能量)之后的维护原因,或者在长时间的电网损耗的情况下,风力涡轮也可被停放。

[0013] 本文中可理解的是,当风力涡轮的转子以足够高的速度旋转以产生能量并且风力涡轮的发电机产生电功率时,风力涡轮处于操作中。

[0014] 在本公开的又一方面中,提供一种用于减轻停放的风力涡轮的振动的方法。方法包括使振动减轻装置围绕风力涡轮叶片且朝向叶片的根部移动。装置包括三个或更多个空气流修改元件,空气流修改元件包括凹形外表面,该凹形外表面构造成远离风力涡轮叶片(例如,当安装于叶片时,远离叶片的局部表面)面向。相邻的空气流修改元件之间的角距离在截面中为大致上恒定的。方法还包括将装置装固于风力涡轮。

[0015] 仍在本公开的又一方面中,提供一种用于减轻停放的风力涡轮的振动的装置。装置包括三个或更多个空气流修改元件。空气流修改元件具有C形形状或U形形状的截面。C形形状或U形形状的开口远离风力涡轮叶片(例如,远离叶片的局部表面)面向。装置还包括支承结构,其构造成保持相邻的空气流修改元件之间的大致上相同的距离。

[0016] 技术方案1. 一种用于减轻停放的风力涡轮(10)的振动的装置(300),其构造成围绕风力涡轮叶片(22)布置,

其中所述振动减轻装置(300)具有沿着纵向方向(345)的长度(340)和大致上垂直于所述纵向方向(345)的截面,所述截面包括径向方向(343)和切向方向(342);

所述装置(300)包括三个或更多个空气流修改元件(305),所述三个或更多个空气流修改元件(305)包括构造成远离所述风力涡轮叶片(22)面向的凹形外表面(323);

所述装置(300)还包括支承结构(310),所述支承结构(310)构造成支承所述多个空气流修改元件(305);其中

相邻的空气流修改元件(305)之间的角距离(307)在截面中为大致上恒定的。

[0017] 技术方案2. 根据技术方案1所述的装置,其中,所述空气流修改元件(305)的内表面(324)为凸形的。

[0018] 技术方案3. 根据技术方案1或技术方案2所述的装置,其中,装置(300)的所有所述空气流修改元件(305)在截面中具有大致上相同的形状和大小。

[0019] 技术方案4. 根据技术方案1-3中的任何所述的装置,其中,所述空气流修改元件(305)接触相邻的空气流修改元件(305)。

[0020] 技术方案5. 根据技术方案4所述的装置,其中,第一空气流修改元件的外端部(306)和第二相邻空气流修改元件的外端部(316)由切向气隙(317)分离。

[0021] 技术方案6. 根据技术方案1-3中的任何所述的装置,其中,所述空气流修改元件(305)通过切向空气空间(315)与相邻的空气流修改元件(305)完全地分离。

[0022] 技术方案7. 根据技术方案1-6中的任何所述的装置,其中,第一空气流修改元件(325)构造成布置在所述风力涡轮叶片(22)的前缘(260)前面,并且其中,第二空气流修改元件(326)构造成布置在所述风力涡轮叶片(22)的后缘(270)后面。

[0023] 技术方案8. 根据技术方案1-7中的任何所述的装置,其中,至少一个或多个空气流修改元件(305)的径向对称轴线(321)在截面中位于与对应的局部径向方向(343)不同的方向上。

[0024] 技术方案9. 根据技术方案1-8中的任何所述的装置,其中,所述装置(300)构造成当所述装置(300)安装于所述叶片(22)时,提供一个或多个空气流修改元件(305)与所述风力涡轮叶片(22)的局部表面之间的径向间隙(314)。

[0025] 技术方案10. 根据技术方案1-9中的任何所述的装置,其中,支承结构(310)包括末端支承件(339)和根部支承件(337),所述末端支承件(339)构造成比所述根部支承件(339)更靠近叶片末端(220)。

[0026] 技术方案11. 一种风力涡轮叶片(22),其包括根据技术方案1-10中的任何所述的装置(300)。

[0027] 技术方案12. 一种用于减轻停放的风力涡轮(10)中的振动的方法(400),所述方法包括:

使振动减轻装置(300)围绕风力涡轮叶片(22)且朝向所述叶片(22)的根部(210)移动(410),其中所述装置(300)包括三个或更多个空气流修改元件(305),所述三个或更多个空气流修改元件(305)包括构造成远离所述风力涡轮叶片(22)面向的凹形外表面(323),并且其中,相邻的空气流修改元件(305)之间的角距离(307)在截面中为大致上恒定的;以及

将所述装置(300)装固(420)于所述风力涡轮(10)。

[0028] 技术方案13. 根据技术方案12所述的方法,其中,移动(410)包括拉动一根或多根绳索,所述一根或多根绳索附接于所述振动减轻装置(300)的支承结构(310)。

[0029] 技术方案14. 根据技术方案12或技术方案13所述的方法,其中,所述风力涡轮叶片(22)向下指向。

[0030] 技术方案15. 根据技术方案12-14中的任何所述的方法,所述方法还包括在开始或恢复操作之前,将所述装置(300)从所述风力涡轮叶片(22)移除。

### 附图说明

[0031] 图1示出风力涡轮的一个实例的透视图;

图2示出图1的风力涡轮的机舱的一个实例的简化内部视图;

图3示出图1中示出的风力涡轮叶片的示意性透视图;

图4示意性地示出根据一个实例的振动减轻装置的多个空气流修改元件的透视图,该振动减轻装置围绕风力涡轮叶片布置;

图5示意性地示出根据另一实例的振动减轻装置的多个空气流修改元件的透视图,该振动减轻装置靠近风力涡轮叶片;

图6-9和图11-12B示意性地示出根据不同实例的围绕风力涡轮叶片布置的振动减轻装置的截面;

图10A和图10B以截面示意性地示出空气流修改元件的两个实例;

图13A示意性地示出用于支承三个或更多个空气流修改元件的支承件的实例的透视图;

图13B示意性地示出用于支承三个或更多个空气流修改元件的支承件的实例的正视图;以及

图14示出用于减轻风力涡轮振动的方法的流程图。

### 具体实施方式

[0032] 现在将详细地参照实施例,其一个或多个实例在附图中示出。每个实例仅经由阐释提供,而不限。实际上,对本领域技术人员而言将显而易见的是,可在本公开中作出各种改型和变型。例如,示为或描述为一个实施例的部分的特征可与另一个实施例一起使用以产生又一个实施例。因此,意图是,本公开覆盖归入所附权利要求和它们的等同物的范围内的此类改型和变型。

[0033] 图1为风力涡轮10的实例的透视图。在实例中,风力涡轮10为水平轴风力涡轮。作为备选,风力涡轮10可为垂直轴风力涡轮。在实例中,风力涡轮10包括从地面12上的支承系统14延伸的塔架15、安装在塔架15上的机舱16,以及联接于机舱16的转子18。转子18包括可旋转毂20和至少一个转子叶片22,至少一个转子叶片22联接于毂20并且从毂20向外延伸。在实例中,转子18具有三个转子叶片22。在备选的实施例中,转子18包括多于或少于三个转子叶片22。塔架15可由管状钢制作,以限定支承系统14与机舱16之间的腔(图1中未示出)。在备选的实施例中,塔架15为具有任何合适高度的任何合适类型的塔架。根据备选方案,塔架可为混合塔架,其包括由混凝土制成的部分和管状钢部分。此外,塔架可为部分或完整的格子塔架。

[0034] 转子叶片22绕着毂20间隔,以便于使转子18旋转,以使得动能能够从风转化成可用的机械能,并且随后,转化成电能。转子叶片22通过在多个负载传递区域26处将叶片根部区域24联接于毂20来与毂20配合。负载传递区域26可具有毂负载传递区域和叶片负载传递区域(两者未在图1中示出)。关于转子叶片22感应的负载经由负载传递区域26传递至毂20。

[0035] 在实例中,转子叶片22可具有范围从大约15米(m)到大约90m或更大的长度。转子叶片22可具有任何合适的长度,其使得风力涡轮10能够如本文中描述地起作用。例如,叶片长度的非限制性实例包括20m或更小、37m、48.7m、50.2m、52.2m,或大于91m的长度。在风从风向28撞击转子叶片22时,转子18绕着转子轴线30旋转。在转子叶片22旋转并且经受离心力时,转子叶片22还经受各种力和力矩。就此而言,转子叶片22可从中性或非偏转的位置偏转和/或旋转至偏转的位置。

[0036] 此外,转子叶片22的桨距角(即,确定转子叶片22相对于风向的方位的角度)可由桨距系统32改变,以通过调整至少一个转子叶片22相对于风矢量的角位置来控制由风力涡轮10生成的负载和功率。示出转子叶片22的桨距轴线34。在风力涡轮10的操作期间,桨距系统32可特别地改变转子叶片22的桨距角,使得转子叶片(的部分)的攻角减小,这促进降低旋转速度并且/或者促进转子18的失速。

[0037] 在实例中,每个转子叶片22的叶片桨距由风力涡轮控制器36或由桨距控制系统80独立地控制。作为备选,用于所有转子叶片22的叶片桨距可由所述控制系统同时地控制。

[0038] 此外,在实例中,在风向28改变时,机舱16的偏航方向可绕着偏航轴线38旋转,以使转子叶片22相对于风向28定位。

[0039] 在实例中,风力涡轮控制器36示出为在机舱16内形成中心,然而,风力涡轮控制器36可为分布式系统,其遍及风力涡轮10,在支承系统14上,在风电场内和/或在远程控制中心处。风力涡轮控制器36可包括处理器40,其构造成执行本文中描述的方法和/或步骤中的一些。此外,本文中描述的其它构件中的许多包括处理器。

[0040] 如本文中使用的,用语“处理器”不限于本领域中被称为计算机的集成电路,而是广义地指控制器、微控制器、微型计算机、可编程逻辑控制器(PLC)、专用集成电路,以及其它可编程电路,并且这些用语在本文中可互换地使用。应当理解的是,处理器和/或控制系统还可包括存储器、输入通道和/或输出通道。

[0041] 图2为风力涡轮10的部分的放大截面视图。在实例中,风力涡轮10包括机舱16和转子18,转子18可旋转地联接于机舱16。更具体而言,转子18的毂20通过主轴44、齿轮箱46、高速轴48以及联接器50可旋转地联接于定位在机舱16内的电气发电机42。在实例中,主轴44至少部分地设置成与机舱16的纵向轴线(未示出)同轴。主轴44的旋转驱动齿轮箱46,齿轮箱46随后通过将转子18和主轴44的相对缓慢的旋转移动转换成高速轴48的相对快速的旋转移动来驱动高速轴48。后者连接于发电机42,用于在联接器50的帮助下生成电能。此外,变压器90和/或合适的电子设备、开关、和/或逆变器可布置在机舱16中,以便将具有400V至1000V之间的电压的、由发电机42生成的电能转变成具有中压(10-35KV)的电能。所述电能经由功率线缆从机舱16传导到塔架15中。

[0042] 齿轮箱46、发电机42以及变压器90可由机舱16的主支承结构框架(其可选地实施为主框架52)支承。齿轮箱46可包括齿轮箱壳体,其由一个或多个扭矩臂103连接于主框架52。在实例中,机舱16还包括主前支承轴承60和主后支承轴承62。此外,发电机42可通过使支承器件54解除联接来安装于主框架52,特别地以便防止发电机42的振动引入到主框架52中并且由此引起噪声发射源。

[0043] 可选地,主框架52构造成承载由转子18和机舱16的构件的重量以及由风和旋转负载引起的全部负载,并且此外,构造成将这些负载引入到风力涡轮10的塔架15中。转子轴

44、发电机42、齿轮箱46、高速轴48、联接器50,以及任何相关的紧固、支承和/或装固装置(其包括但不限于支承件52,以及前支承轴承60和后支承轴承62)有时被称为传动系64。

[0044] 在一些实例中,风力涡轮可为不具有齿轮箱46的直接驱动风力涡轮。发电机42以与直接驱动风力涡轮中的转子18相同的旋转速度操作。因此,它们大体上具有比在具有齿轮箱46的风力涡轮中使用的发电机大得多的直径,用于提供与具有齿轮箱的风力涡轮相似的量的功率。

[0045] 机舱16还可包括偏航驱动机构56,偏航驱动机构56可用于使机舱16旋转,并且由此还使转子18绕着偏航轴线38旋转,以控制转子叶片22相对于风向28的视角(perspective)。

[0046] 为了使机舱16相对于风向28适当地定位,机舱16还可包括至少一个气象测量系统,该至少一个气象测量系统可包括风向标和风速计。气象测量系统58可将信息提供至风力涡轮控制器36,该信息可包括风向28和/或风速。在实例中,桨距系统32至少部分地布置为毂20中的桨距组件66。桨距组件66包括一个或多个桨距驱动系统68和至少一个传感器70。每个桨距驱动系统68联接于相应的转子叶片22(在图1中示出),用于调节转子叶片22沿着桨距轴线34的桨距角。三个桨距驱动系统68中的仅一个在图2中示出。

[0047] 在实例中,桨距组件66包括至少一个桨距轴承72,至少一个桨距轴承72联接于毂20和相应的转子叶片22(在图1中示出),用于使相应的转子叶片22绕着桨距轴线34旋转。桨距驱动系统68包括桨距驱动马达74、桨距驱动齿轮箱76,以及桨距驱动小齿轮78。桨距驱动马达74联接于桨距驱动齿轮箱76,使得桨距驱动马达74将机械力给予于桨距驱动齿轮箱76。桨距驱动齿轮箱76联接于桨距驱动小齿轮78,使得桨距驱动小齿轮78由桨距驱动齿轮箱76旋转。桨距轴承72联接于桨距驱动小齿轮78,使得桨距驱动小齿轮78的旋转引起桨距轴承72的旋转。

[0048] 桨距驱动系统68联接于风力涡轮控制器36,用于在接收到来自风力涡轮控制器36的一个或多个信号时调整转子叶片22的桨距角。在实例中,桨距驱动马达74为任何合适的马达,该任何合适的马达由电功率和/或液压系统驱动,这使得桨距组件66能够如本文中描述地起作用。作为备选,桨距组件66可包括任何合适的结构、构造、布置和/或构件,诸如但不限于液压缸、弹簧和/或伺服机构。在某些实施例中,桨距驱动马达74由能量驱动,该能量从毂20的转动惯量和/或储存的能量源(未示出)抽取,该储存的能量源将能量供应至风力涡轮10的构件。

[0049] 桨距组件66还可包括一个或多个桨距控制系统80,用于在特定优先的情况下和/或在转子18超速期间,根据来自风力涡轮控制器36的控制信号控制桨距驱动系统68。在实例中,桨距组件66包括至少一个桨距控制系统80,至少一个桨距控制系统80通信地耦合于相应的桨距驱动系统68,用于独立于风力涡轮控制器36控制桨距驱动系统68。在实例中,桨距控制系统80耦合于桨距驱动系统68和传感器70。在风力涡轮10的正常操作期间,风力涡轮控制器36可控制桨距驱动系统68,以调整转子叶片22的桨距角。

[0050] 根据实施例,功率发电机84(例如包括电池和电容器)布置在毂20处或内,并且联接于传感器70、桨距控制系统80和桨距驱动系统68,以将功率源提供至这些构件。在实例中,功率发电机84在风力涡轮10的操作期间将持续的功率源提供至桨距组件66。在备选的实施例中,功率发电机84仅在风力涡轮10的电功率损失事件期间将功率提供至桨距组件

66.电功率损失事件可包括功率电网损失或下降、风力涡轮10的电气系统的失灵,和/或风力涡轮控制器36的故障。在电功率损失事件期间,功率发电机84操作成将电功率提供至桨距组件66,使得桨距组件66可在电功率损失事件期间操作。

[0051] 在实例中,桨距驱动系统68、传感器70、桨距控制系统80、线缆,以及功率发电机84均定位在腔86中,腔86由毂20的内表面88限定。在备选的实施例中,所述构件相对于毂20的外表面定位,并且可直接地或间接地联接于外表面。

[0052] 风力涡轮叶片22(例如,图1中示出的转子叶片22中的一个)的示意性透视图在图3中作为实例示出。转子叶片22包括叶片根部210、叶片末端220、前缘260,以及后缘270。叶片根部210构造用于将转子叶片22安装于风力涡轮10的毂20。风力涡轮叶片22在叶片根部210与叶片末端220之间纵向地延伸。翼展230限定转子叶片22在所述叶片根部210与叶片末端220之间的长度。在叶片的给定位置处的翼弦280为连结前缘260和后缘270的假想直线,截面大体上具有翼型形状截面。如大体上理解的,弦向方向大致上垂直于翼展方向。此外,在转子叶片22从叶片根部210延伸至叶片末端220时,翼弦280可在长度285方面变化。风力涡轮叶片22还包括在前缘260与后缘270之间延伸的压力侧240和吸入侧250。末端区域225可理解为包括末端220的风力涡轮叶片22的部分。末端区域可具有翼展的33%、30%或25%或更小的长度。根部区域24可理解为包括根部210的叶片的部分。根部区域可具有翼展的例如33%、30%或更小的长度。

[0053] 转子叶片22在不同的翼展位置处具有不同的空气动力学轮廓,并且因此可具有翼型形状截面290,诸如对称或弧形的翼型形状截面。靠近叶片的根部,叶片的截面可为圆的,甚至圆形或几乎圆形的。更靠近叶片的末端,叶片的截面可为较薄的,并且可具有翼型形状。

[0054] 当风力涡轮被停放或停止时,由围绕风力涡轮(特别是围绕风力涡轮叶片)流动的空气引起的振动可使风力涡轮叶片和风力涡轮受应力并且损坏它们。在这些情况下,风力涡轮转子可或不可被锁定。

[0055] 特别是当涡轮被停放时,至少两种类型的振荡或振动可发生。第一种为所谓的涡流引起的振动(VIV),并且当用于叶片或翼型部分的攻角为大约90度时,这些振荡或振动可出现。涡流脱落可有助于增强风力涡轮叶片振荡。第二种类型的振荡为失速引起的振动(SIV),其可在攻角接近失速角(例如,15度-30度)时出现。攻角可理解为风的流动方向与转子叶片的翼弦或转子叶片区段的局部翼弦之间的几何角度。

[0056] 如本文中描述的装置300可在风力涡轮被停放时减少振动。风力涡轮的性能可不被负面地影响,因为(多个)装置可在风力涡轮开始正常操作之前移除。一个或多个装置300可在风力涡轮的安置和/或试车期间为特别有用的。如果风力涡轮停止(例如,用于维护),则其也可为有用的。

[0057] 提供用于减轻停放的风力涡轮10的振动的振动减轻装置300。装置300构造成围绕风力涡轮叶片22布置。振动减轻装置300具有沿着纵向方向345的长度340和大致上垂直于纵向方向345的截面。截面包括径向方向343和切向方向342。装置包括三个或更多个空气流修改元件305,其包括构造成远离风力涡轮叶片22面向的凹形外表面323。装置还包括构造成支撑多个空气流修改元件305的支撑结构310。截面中的、相邻的空气流修改元件305之间的角距离307为大致恒定的。

[0058] 具有三个或更多个空气流修改元件305使装置的行为独立于风向,三个或更多个空气流修改元件305在截面中的围绕风力涡轮叶片22的角间距307(见例如图7)方面大致上相等地间隔。因此,装置300可能针对风的更多引入方向令人满意地减小风力涡轮振动,这可增加振动减轻的有效性。相比于其它装置(例如,具有仅两个空气流修改元件305的装置,或具有三个或更多个空气流修改元件的装置,该三个或更多个空气流修改元件具有截面中的相邻元件305的不同角间距307),装置300(其可类似地反应,而不管风的吹动方向)可实现更加可预测且更稳定的行为。具体而言,可避免或减少由装置300引起的扭转负载的影响。因此,还可减少装置300的非期望或非预期的行为。另外,例如,当与具有仅一个或两个修改元件的装置相比较时,可获得更大的阻力以及因此更大的阻尼。空气流修改元件305的凹形外表面323(例如,在截面中具有U形形状或C形形状的表面323)可特别地适合于增加阻力。

[0059] 图4和图5示意性地示出振动减轻装置300的空气流修改元件305的两个实例的透视图。在这些图中,未示出用于支承空气流修改元件的支承结构310。在图4的实例中,装置300围绕风力涡轮叶片22布置,特别地围绕叶片22的末端区域225布置。大体上,本文中公开的所有装置300可围绕风力涡轮叶片22的末端区域225布置。在图5中,装置300移动成使得其可包绕叶片22的末端220。

[0060] 在一些实例中,所有的空气流修改元件沿着纵向方向345的长度341可为大致上相同的,例如,如在图4中。另外,在图4中,装置300的长度340大致上等于空气流修改元件305的长度341。在其它实例中,不同的空气流修改元件305可沿着装置的纵向方向345具有不同的长度。当围绕风力涡轮叶片22安装时,装置300的纵向方向345可大致上平行于叶片22的翼展方向。

[0061] 装置300的宽度338可沿着径向方向343测量。如果装置具有大致圆形的截面,如例如,在图4-8的实例中,则宽度338可为装置300的直径。如果装置具有大致椭圆形的截面,如例如,在图9的实例中,则装置的宽度可例如沿着椭圆的长轴线测量。此外,在其中振动减轻装置300包括大致圆形的截面的实例中,例如,诸如在图4-8中,切向方向342可被称为周向方向342。

[0062] 在一些实例中,振动减轻装置300可具有大致圆柱形、圆锥形或截头圆锥形的形状。在一些实例中,当围绕叶片22安装时,装置300可构造成朝向叶片末端220渐缩。在其它实例中,例如,如在图4和图5中,装置300具有圆柱形形状。当经受来自不同方向的风时,圆柱形形状可增加装置300的反应的独立性。

[0063] 在一些实例中,空气流修改元件305的内表面324可为凸形的,见例如图4和图5。空气流修改元件的外表面323可理解为空气流修改元件的凹形表面,其构造成远离局部叶片表面面向,并且构造成距局部叶片表面最远,例如,比空气流修改元件的内表面324更远。空气流修改元件的内表面324可理解为空气流修改元件的表面,其构造成最靠近局部叶片表面。内表面324可具有其它形状,例如,大致平面或平坦的形状。

[0064] 当在使用中时,空气流修改元件305可构造成保持它们的形状,例如,截面中的C形形状或U形形状。在一些实例中,空气流修改元件可包括一种或多种塑料。塑料可赋予空气流修改元件一定的刚度(即,关于响应于施加的力的变形的一定抵抗力),使得它们的形状被维持。在其它实例中,空气流修改元件305可包括基于纺织品的覆盖物,诸如织物或油布,

其附接于合适的支承结构310的部分,例如,附接于一个或多个轨道。轨道可沿着纵向方向345延伸。一个或多个轨道可为大致上笔直的。在一些实例中,与空气流修改元件350的长度341和宽度319相比较,空气流修改元件350(见例如,图5)的厚度336可为可忽略的或非常小的。仍在其它实例中,空气流修改元件305可由泡沫制成。例如,图10A的空气流修改元件可由泡沫制成。

[0065] 空气流修改元件305的材料和曲率可适应于获得轻质元件,用于有效地减轻风力涡轮振动。可增加空气流修改元件305的外表面303的曲率,用于增加装置的阻尼能力。例如,对于减轻VIV和/或SIV而言,具有外表面323的图10B的空气流修改元件可为更有效的,外表面323具有比图10A的空气流修改元件的外表面323大的曲率。本文中,曲率可理解为曲线偏离直线的量,或表面偏离平面的量。在图10A和图10B为两个空气流修改元件305的截面时,可看到外边缘303和内边缘304,而不是外表面323和内表面324。

[0066] 在一些实例中,装置300的所有空气流修改元件305在截面中具有大致上相同的形状和大小。这可帮助获得装置300的反应,该反应更加独立于方向(例如,径向方向343),风沿该方向朝向叶片22吹动。在这些实例中的一些中,例如,在图6-9的实例中,振动减轻装置300的空气流修改元件305中的每个可关于径向方向343大致上对称,见例如图8和图10A中的元件313。可进一步增强装置对朝向局部叶片表面吹动的风的对称性和均一响应。在一些实例中,所有的空气流修改元件305还可沿着纵向方向345具有相同的长度,如例如在图4和图5中。在这些实例中,装置300的所有空气流修改元件305为大致上相同的。

[0067] 在一些实例中,空气流修改元件305可接触相邻的空气流修改元件。在这些实例中的一些中,例如,如在图6中,第一空气流修改元件的外端部306和第二相邻空气流修改元件的外端部316由切向气隙317(即,沿着切向方向342的间隙317)分离。此类气隙317可帮助减少由装置300本身引起的涡流脱落。在一些其它实例中,两个相邻空气流修改元件305的外端部306,316可触摸。例如,空气流修改元件可构造成使得两个相邻空气流修改元件的外端部306,316触摸,如例如在图12B中。在一些实例中,两个相邻空气流修改元件的外端部306,316可在截面中由节段318连结。

[0068] 在一些实例中,通过切向空气空间315,即,通过沿着切向方向342的空间315,空气流修改元件305可与相邻的空气流修改元件完全地分离,见例如图8。即,在沿着切向方向342的相邻元件之间不存在接触。切向空气空间315可帮助减少由振动减轻装置300本身引起的涡流脱落。

[0069] 在一些实例中,沿着切向方向在两个连续的空气流修改元件之间的距离315小于空气流修改元件的宽度319的两倍,并且特别地小于宽度319的一倍。空气流修改元件的宽度319可在截面中在元件的两个外端部306之间测量,见例如图8。在由于空气流修改元件305的外表面323的凹形形状而使阻力最大化与使由振动减轻装置300引起的涡流脱落最小化之间,具有此类空气空间315可提供合适的平衡。此类切向空气空间315可在两个相邻空气流修改元件305的两个相邻外端部306,316之间测量。

[0070] 在一些实例中,第一空气流修改元件325可构造成布置在风力涡轮叶片22的前缘260前面,而第二空气流修改元件326可构造成布置在风力涡轮叶片22的后缘270的后面,见例如图5和图6。使两个空气流修改元件以该方式布置可特别地帮助减轻沿边的振动。

[0071] 在这些实例中,可使用偶数数量的空气流修改元件305,数量为四个或更多个。例

如,如图4-9中示出的,可使用八个空气流修改元件。在其它实例中,可使用不同数量的空气流修改元件,例如,四个、六个、十个或更多个。在其中两个空气流修改元件不构造成分别布置在前缘260前面和在后缘270后面的其它实例中,可提供偶数数量或奇数数量的空气流修改元件。例如,可提供三个、四个、五个、六个或更多个空气流修改元件。

[0072] 在一些实例中,至少一个或多个空气流修改元件305的径向对称轴线321在截面中可位于与对应的局部径向方向343不同的方向上,见例如图11。换句话说,一个或多个(包括所有)空气流修改元件可相对于径向方向343倾斜。在这些实例中的一些中,倾斜角322可在 $0^{\circ}$ 和 $20^{\circ}$ 之间,特别地小于 $10^{\circ}$ ,并且更具体地小于 $5^{\circ}$ 。

[0073] 在一些实例中,在截面中,空气流修改元件305的第一外端部306可构造成比空气流修改元件的第二外端部316更远离局部叶片表面突出,见例如图12A和图12B。尽管可提供有效的阻尼而不管风向,但是单独的方向上的阻尼可通过引入这些不规则性来修整。例如,在一些实例中,空气流修改元件的布置和尺寸可适应于增加在沿边方向上的阻尼。

[0074] 在一些实例中,当沿着切向方向342前进时,第一空气流修改元件305和邻近于第一空气流修改元件的第二空气流修改元件325的相邻外端部331,332可构造成具有至装置的中心301的第一径向距离327。第二空气流修改元件325和邻近于第二空气流修改元件325的第三空气流修改元件335的相邻外端部333,334可构造成具有至装置的中心301的第二径向距离328,第二径向距离328大于第一距离327。第一空气流修改元件305、第二空气流修改元件325以及第三空气流修改元件335为不同的元件。

[0075] 在截面中,具有U形形状或C形形状的截面的空气流修改元件的外边缘303可包括外谷点308和两个外臂311,312。外谷点308可理解为外边缘303的点,该点在截面中最靠近装置的中心301。在一些实例中,空气流修改元件的径向对称轴线321穿过外谷点308。两个外臂311,312可在谷点308处相遇。相邻空气流修改元件305,325的两个相邻外臂331,332可形成尖峰350。形成尖峰350的两个相邻外臂的外端部可具有至装置的中心301的大致相同的径向距离327,328。在这些实例中的一些中,如例如,在图12B中,尖峰350的外端部触摸。

[0076] 在这些实例中的一些中,当沿着切向方向342前进时,连续的尖峰可在截面中具有至装置的中心301的交替距离。第一组尖峰351可在截面中具有至装置的中心的第一径向距离327,而从第一组尖峰351沿着切向方向342移位的第二组尖峰352可具有大于第一距离327的、至装置的中心301的第二径向距离328,见例如图12A和图12B。

[0077] 在一些实例中,空气流修改元件305中的每个与振动减轻装置300的中心301之间的径向距离在截面中可为大致上相同的。即,所有空气流修改元件305可在截面中具有至装置的中心301的相同距离。在一些实例中,径向距离可在截面中在装置的中心301与空气流修改元件的外边缘303的谷点308之间测量。在其它实例中,径向距离可在截面中在装置的中心301与空气流修改元件的内边缘304的谷点309之间测量。内边缘304的谷点309可理解为内边缘304的点,其在截面中最靠近装置的中心301,见例如图10A。内边缘304可具有可在内谷点309处相遇的两个内臂361,362。内臂361,362可在空气流修改元件305的外端部306处与外臂311,312相遇,见例如图10A。

[0078] 在一些实例中,一个或多个空气流修改元件305(包括所有的空气流修改元件)可构造成在缩回构造与延伸构造之间改变。例如,它们可构造成沿着装置300的纵向方向345延伸和缩回。在一些实例中,空气流修改元件305可包括基于纺织品的覆盖物,诸如织物或

油布,其可移动地附接于一个或多个轨道。轨道可沿着纵向方向345延伸。

[0079] 振动减轻装置300的可缩回且可延伸的空气流修改元件305可帮助适应:空气流修改元件的表面暴露于风到什么程度或到多大程度。因此,当将装置运送(例如,升起)至停放的风力涡轮10的叶片22时,并且/或者当运输或升起承载此类装置的叶片时,可增强装置的控制。

[0080] 可特别有益的是,将装置以缩回构造运送,用于降低损坏装置300以及风力涡轮10(例如,风力涡轮塔架15或风力涡轮叶片22)的风险。一旦安装在叶片22上,也可增强装置的控制。如果需要更多的振动减轻,则装置300的一个或多个空气流修改元件350可进一步延伸(如果它们尚未完全地延伸)。如果装置300和/或风力涡轮10经受非预期或非期望的负载或振动,则一个或多个空气流修改元件305可缩回,用于减弱非期望的振动和/或应力。使振动减轻装置300从叶片移除可因此被避免或者可为较不频繁地必要的。这可提高对潜在在危险或不需要的条件作出反应的效率。一旦冒险或非期望的事件结束,这就可进一步促进触动装置300,即使装置300的空气流修改元件305延伸。

[0081] 遍及本公开,空气流修改元件350的缩回构造可意味着空气流修改元件具有构造,在该构造中,其尺寸中的一个或多个(即,长度341、宽度319和/或厚度336)比延伸构造中的小。例如,与缩回构造中的其长度341相比较,在空气流修改元件的延伸构造中,可增加沿着空气流修改元件的纵向方向345的空气流修改元件305的长度341。在这些或其它实例中,与空气流修改元件的缩回构造相比较,在空气流修改元件的延伸构造中,可增加空气流修改元件的宽度319。

[0082] 在一些实例中,支承结构310可包括末端支承件339和根部支承件337,见例如图13A。可理解的是,当振动减轻装置300围绕叶片22安装时,末端支承件339构造成比根部支承件337更靠近叶片22的末端220。同样地,可理解的是,当装置300围绕叶片22安装时,根部支承件337构造成比末端支承件339更靠近叶片22的根部210。在一些实例中,支承结构310可包括末端支承件339与根部支承件337之间的一个或多个中间支承件344。在这些或其它实例中,一个或多个轨道可在末端支承件339与根部支承件337之间延伸。

[0083] 在一些实例中,末端支承件339可提供在装置300的第一纵向端部346(例如,末端端部346)处或附近。根部支承件337可提供在装置的第二纵向端部347(例如,末端端部347)处或附近。

[0084] 在一些实例中,末端支承件339和根部支承件337以及可选地中间支承件344(如果存在)可具有圆形或椭圆形的截面。例如,支承件的外边缘在截面中可为大致圆形或椭圆形的。支承件的内边缘在截面中可在一些实例中,为大致圆形的,并且可在一些其它实例中,构造成适应叶片轮廓。在一些实例中,根部支承件337和末端支承件339可为可充胀的。

[0085] 在一些实例中,末端支承件和根部支承件可包括向外延伸的一个或多个突出部348,见例如图13B。突出部348可构造成当装置300安装于叶片22时,远离局部风力涡轮叶片表面延伸。包括两个相邻突出部的支承件的外边缘349可为凹形的,例如,其可在截面中形成C形形状或U形形状。在一些实例中,在末端支承件339与根部支承件337之间延伸的一个或多个轨道(未示出)可附接于末端支承件和根部支承件的凹形外边缘。一个或多个轨道可为大致上笔直的。

[0086] 在一些实例中,支承结构310可包括支承套筒353,支承套筒353构造成包绕风力涡轮

轮叶片22,并且构造成支承空气流修改元件305,见例如图6和图9。支承套筒可包括柔性基部套筒354,柔性基部套筒354构造成围绕风力涡轮叶片22配合,例如,构造成缠绕叶片22,并且三个或更多个套筒突出部355构造成支承空气流修改元件305。

[0087] 在一些实例中,套筒突出部355可包括从基部354向外延伸的板状突出部和肋状突出部中的至少一个。肋状突出部可包括杆、棒或类似元件。在其它实例中,可使用其它类型的突出部355。使用的突出部的数量和类型可适应于装置的空气流修改元件305,例如,适应于制成它们的材料,以及适应于它们的形状和尺寸。套筒的基部354可帮助保护叶片22的后缘270上的锯齿部。

[0088] 在一些实例中,振动减轻装置300的支承结构310可为足够坚硬的,用于保持(多个)空气流修改元件与叶片表面分离。例如,末端支承件339和根部支承件337以及套筒突出部355可为足够刚性的,使得当装置在使用中时,它们能够保持与围绕叶片22安装时大致相同或相似的形状。

[0089] 在一些实例中,振动减轻装置300可构造成当装置安装于叶片22时,提供一个或多个空气流修改元件305与风力涡轮叶片22的局部表面之间的径向间隙314,见例如图6。即,径向间隙314可提供在空气流修改元件的整体与空气流修改元件下方的对应叶片表面之间。这可增加阻力。例如,通过具有的大小,以及/或者通过具有突出部,支承结构310可构造成使一个或多个空气流修改元件305与局部叶片表面分离。

[0090] 还提供风力涡轮叶片22,其包括如本文中描述的一个或多个振动减轻装置300。在一些实例中,风力涡轮叶片22包括围绕叶片22的末端区域225布置的一个振动减轻装置300。停放的风力涡轮10包括塔架15、机舱16、毂20以及一个或多个叶片22,还提供包括振动减轻装置350的叶片22中的至少一个。

[0091] 在本公开的又一方面中,提供用于减轻停放的风力涡轮10中的振动的方法400。在图14中示意性地示出的方法可特别地在安置期间和/或在风力涡轮10的试车期间使用。当风力涡轮在其操作(即,产生能量)之后停止时,例如,在维护或维修期间,也可使用方法。

[0092] 方法包括,在步骤410处,使振动减轻装置300围绕风力涡轮叶片22且朝向叶片22的根部210移动,装置300包括三个或更多个空气流修改元件305,其包括凹形外表面323,凹形外表面323构造成远离风力涡轮叶片22(例如,当安装于叶片时,远离叶片的局部表面)面向。相邻的空气流修改元件305之间的角距离307在截面中为大致上恒定的。装置300可为如本文中描述的任何装置。

[0093] 在一些实例中,装置300可通过拉动一根或多根绳索来移动,该一根或多根绳索附接于支承结构310,例如,附接于根部支承件337。

[0094] 在一些实例中,装置300可朝向叶片根部210移动,直到末端支承件339的内表面触摸叶片22的表面并且其被卡住,并且因此不可保持其朝向根部210的移动。在一些实例中,装置300可构造成使得当其末端支承件339接触局部叶片表面并被卡住时,根部支承件337也触摸局部叶片表面。

[0095] 在一些实例中,装置300可安装于转子18中的风力涡轮叶片22,转子18已经放置在塔架15的顶部上。在这些实例中的一些中,一根或多根绳索可从毂20或机舱16下降,并且接着附接于支承结构310。装置300将要布置在其上的风力涡轮叶片22可向下指向,即,其可大致上在六点钟位置处。如果叶片22在不同的位置处,则转子18可旋转,以使叶片向下指向。

例如,通过使用附接于装置的末端端部的附加绳索以帮助提升装置,装置300可在不同的位置处安装于叶片22。但是可较容易且较快速的是,在叶片22向下指向的情况下安置装置300。

[0096] 在一些其它实例中,振动减轻装置300可使用一个或多个无人驾驶飞机(例如,至少两个无人驾驶飞机)来安置和卸载。无人驾驶飞机可由一根或多根绳索连接于装置300。无人驾驶飞机可将装置300例如从地面12、机舱16或毂20朝向叶片22运送,并且使装置包绕风力涡轮叶片22。

[0097] 装置300还可围绕叶片22安置,叶片22然而将附接于风力涡轮转子18。在这些实例中,提升装置(诸如起重机)可提升叶片,使得末端220向下指向。通过拉动一根或多根绳索,装置300可接着围绕叶片向上移动(例如,滑动)。

[0098] 方法还包括,在步骤420处,将装置300装固于风力涡轮10。例如,装置可装固于风力涡轮叶片表面、机舱16或毂20。

[0099] 装固可包括将一根或多根绳索附接于风力涡轮。一根或多根绳索的附接可将装置300保持在适当的位置,并且避免其掉落(例如,通过朝向叶片末端220滑动)。在一些实例中,绳索可附接于叶片22的部分。例如,叶片22可包括一个或多个锚定点,绳索可附接于该一个或多个锚定点。在其它实例中,绳索可附接于毂20或机舱16。

[0100] 在一些实例中,如果一个或多个空气流修改元件350处于缩回构造,则方法还可包括将缩回构造改变成延伸构造。例如,一旦振动减轻装置300被装固,就可延伸空气流修改元件305。在一些其它实例中,例如,一旦装置围绕风力涡轮叶片的末端部分225,但是在装置被装固之前,它们就可在装置300被装固之前延伸。

[0101] 在一些实例中,至少使空气流修改元件305延伸可包括至少使空气流修改元件305沿着一个或多个轨道移动。在一些实例中,空气流修改元件的延伸可朝向叶片末端220和/或叶片根部210执行。

[0102] 如果装置300安装在未安置的叶片22上,则方法还可包括安置风力涡轮叶片22。叶片22可首先附接于毂20,并且毂20和叶片22可一起被提升,或者毂20可首先安装在塔架上,并且接着具有装置300的叶片22可被提升并且连接于毂20。

[0103] 一旦安置在塔架上面的叶片22包括装置300,转子18就可旋转,用于将另一装置300安装在另一叶片22上,或者用于将另一叶片22与安装的装置300附接在一起。如果使用无人驾驶飞机,则在装置300可在重叠的时间段安装在不同叶片上时,这一切不可避免。

[0104] 一旦风力涡轮10包括具有安置的一个或多个装置300的一个或多个叶片22,装置300就可减少风力涡轮振动(例如,涡流引起的振动和/或失速引起的振动)。

[0105] 装置300可保持围绕叶片22安装,直到风力涡轮的操作开始或恢复。方法还可包括在开始或恢复操作之前将装置300从风力涡轮叶片22移除。如果安置多于一个装置300,则它们中的全部可在开始或恢复操作之前被移除。

[0106] 使装置300移除可包括使一根或多根绳索370分开,并且让装置300通过重力的作用下落。叶片22可向下指向,即,叶片可在大致上六点钟位置处。如果叶片22不在该位置,则转子18可旋转成将叶片22放置成向下指向。装置300可在相同或不同的风力涡轮中使用多于一次。

[0107] 在一些实例中,如果一个或多个无人驾驶飞机用于卸载装置,则无人驾驶飞机可

将它们运送至地面、毂或机舱。

[0108] 根据本公开的又一方面,提供用于减轻停放的风力涡轮10的振动的振动减轻装置300。装置包括三个或更多个空气流修改元件305。空气流修改元件305具有大致C形形状或U形形状的截面。C形形状或U形形状的开口远离风力涡轮叶片22面向。装置300还包括支承结构310,其构造成保持相邻的空气流修改元件305之间的大致上相同的距离。

[0109] 根据该方面的装置可为如本文中描述的任何装置。例如,根据该方面的装置可并入图4-13B中示出的一个或多个细节。大体上,关于图4-13B的先前解释也可适用于该方面的装置。同样地,该方面的细节也可适用于先前的方面。根据该方面的装置可如先前在本公开中解释地安置和卸载。

[0110] 在一些实例中,支承结构310还构造成维持截面中的、空气流修改元件与装置300的几何中心301之间的大致上恒定的距离。

[0111] 在一些实例中,两个相邻的空气流修改元件305可由切向空气空间315分离。

[0112] 在一些实例中,装置300包括偶数数量的空气流修改元件305,特别是四个或更多个空气流修改元件。

[0113] 在这些实例中的一些中,第一空气流修改元件构造成定位在叶片22的前缘360前面,而第二空气流修改元件构造成定位在叶片22的后缘270后面。

[0114] 在一些实例中,支承结构310至少包括末端支承件339和根部支承件337,空气流修改元件305附接于末端支承件339和根部支承件337。在一些实例中,根部支承件和末端支承件可为环箍。

[0115] 该书面的描述使用实例以公开教导(包括优选实施例),并且还使本领域技术人员能够实践教导(包括制造和使用任何装置或系统并且执行任何并入的方法)。可授予专利权的范围由权利要求限定,并且可包括本领域技术人员想到的其它实例。如果这些其它实例具有不与权利要求的字面语言不同的结构元件,或者如果这些其它实例包括与权利要求的字面语言无显著差别的等同结构元件,则这些其它实例意图在权利要求的范围内。来自描述的各种实施例的方面以及针对每个此类方面的其它已知等同物可由本领域技术人员混合和匹配,以构建根据本申请的原理的附加实施例和技术。如果在权利要求中,与附图有关的附图标记放在括号中,则它们仅用于试图增加权利要求的可理解性,并且将不被解释为限制权利要求的范围。



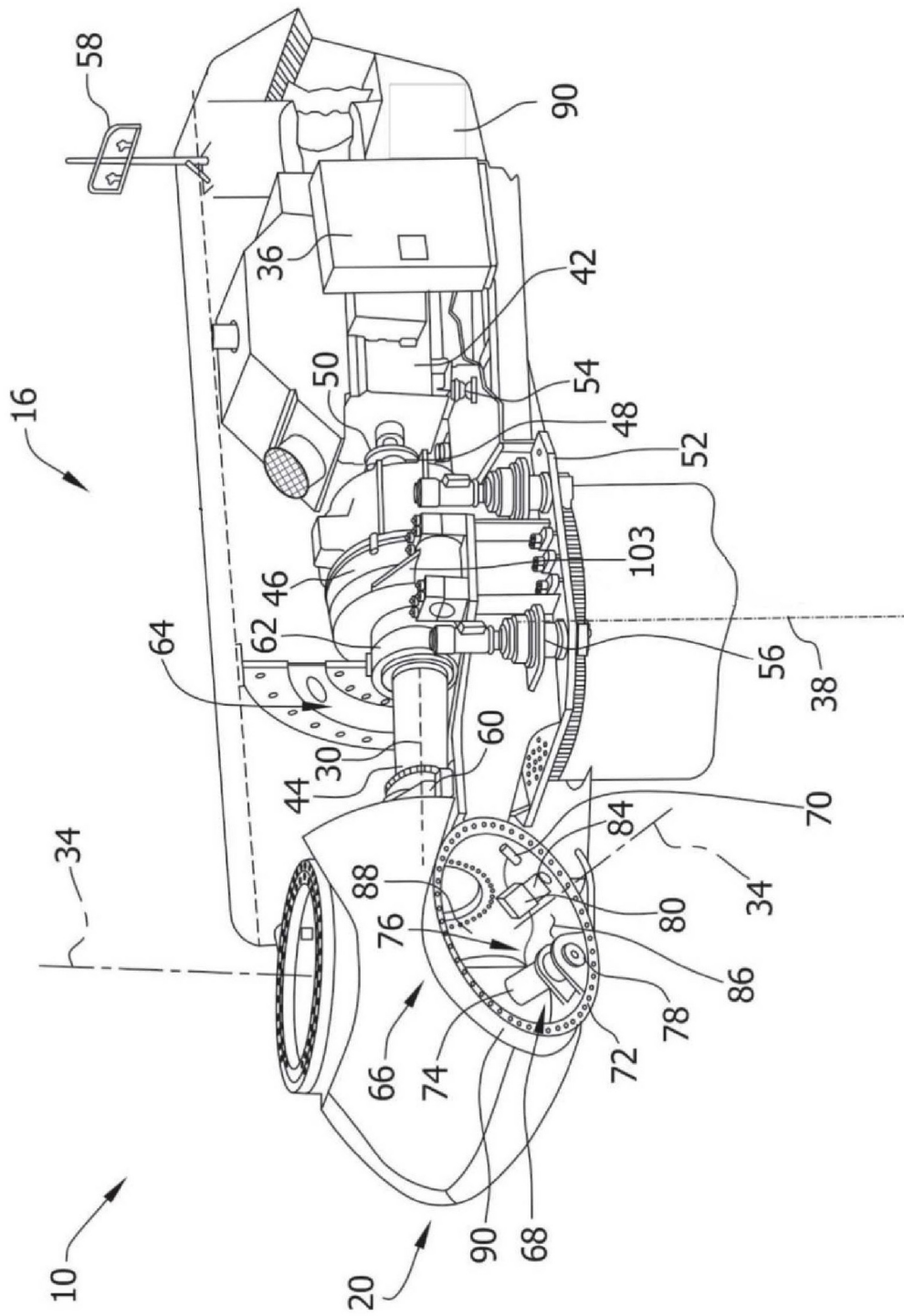


图 2

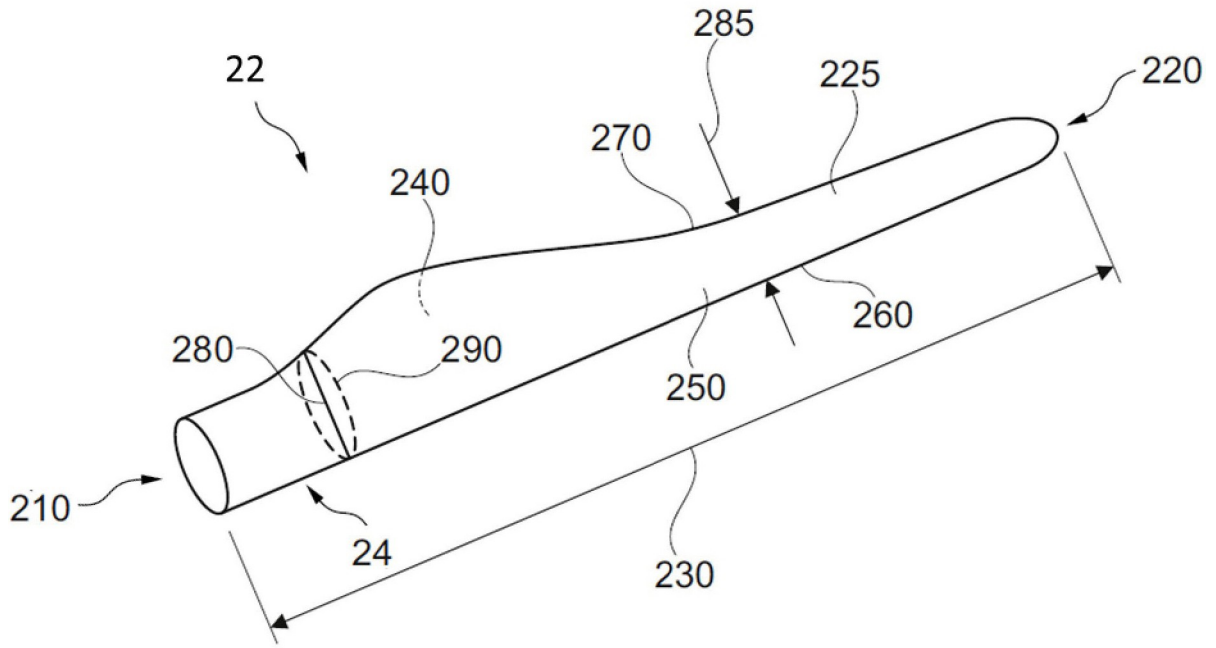


图 3

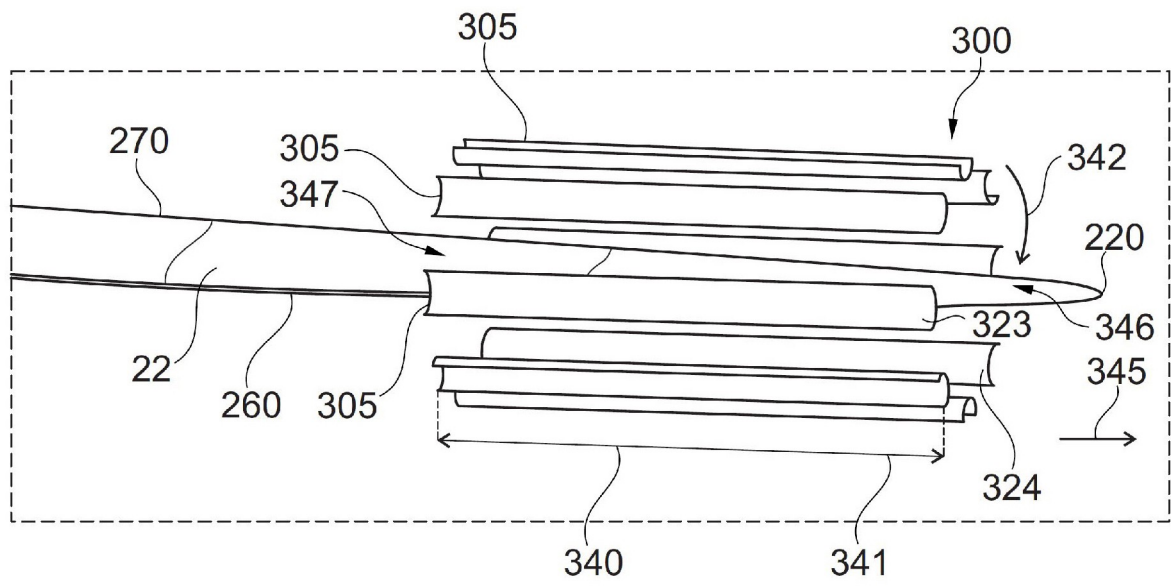


图 4

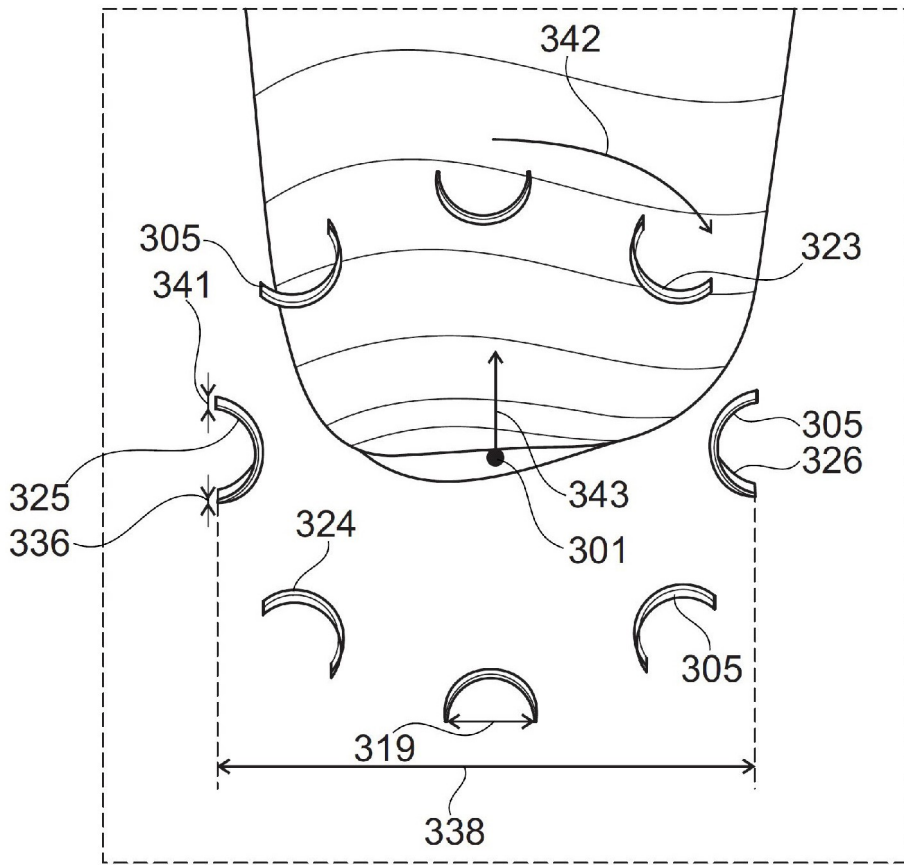


图 5

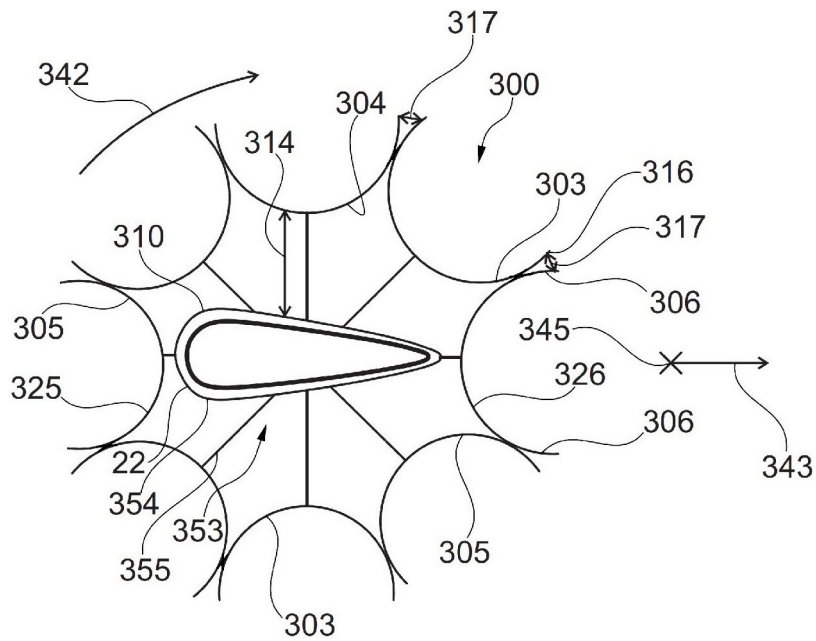


图 6

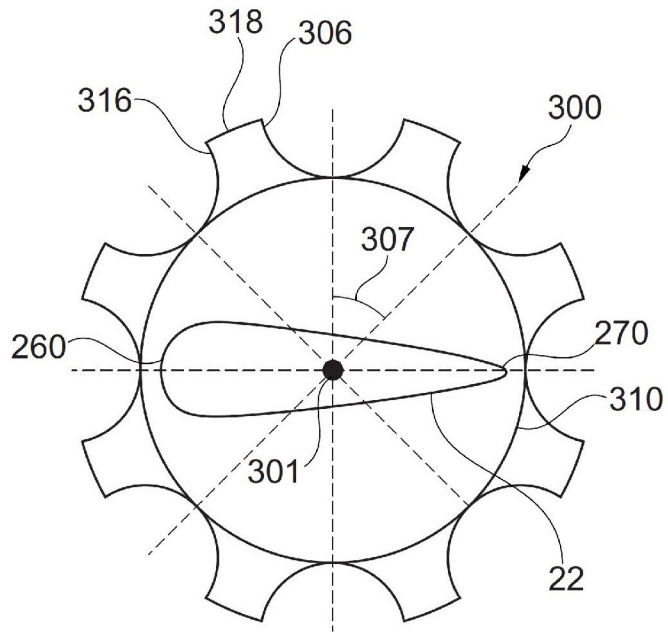


图 7

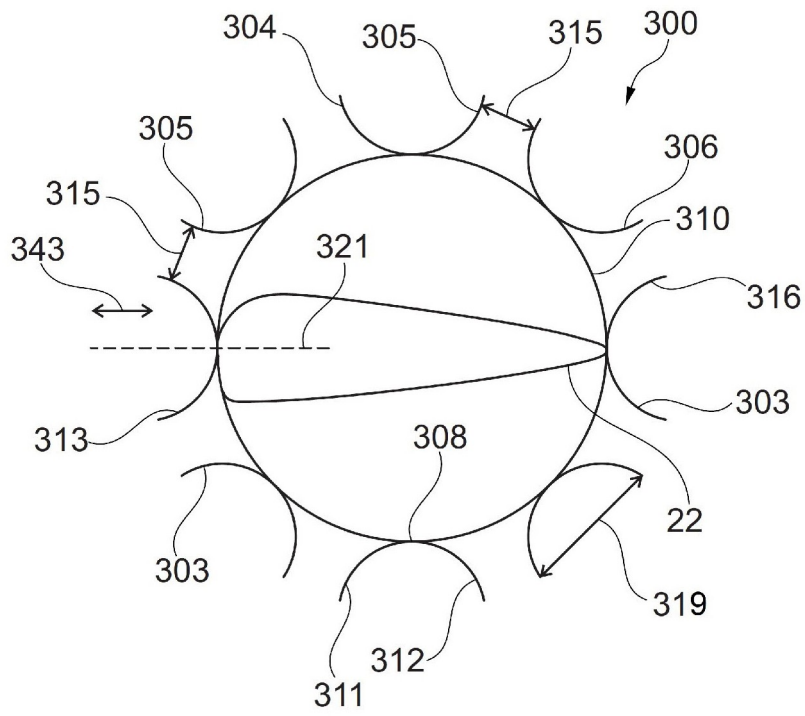


图 8

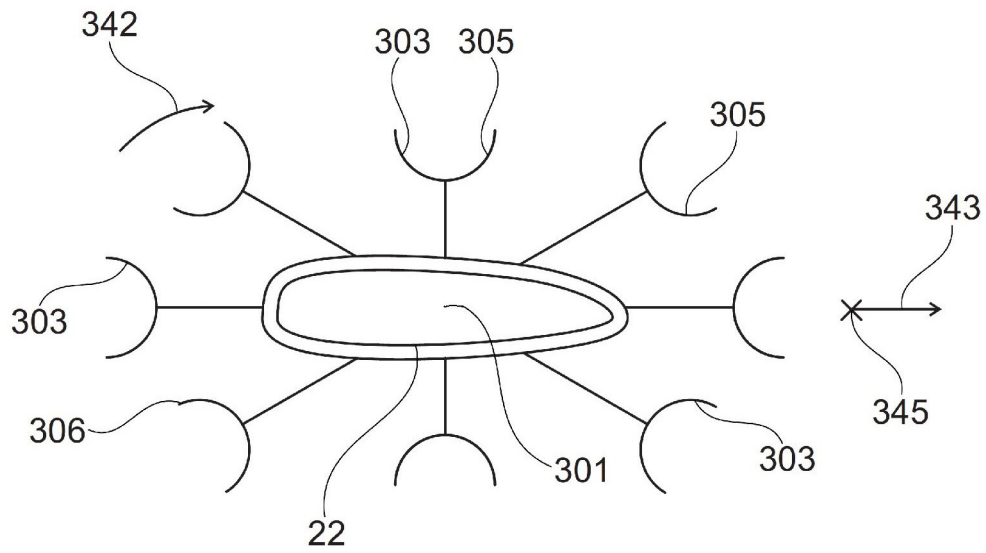


图 9

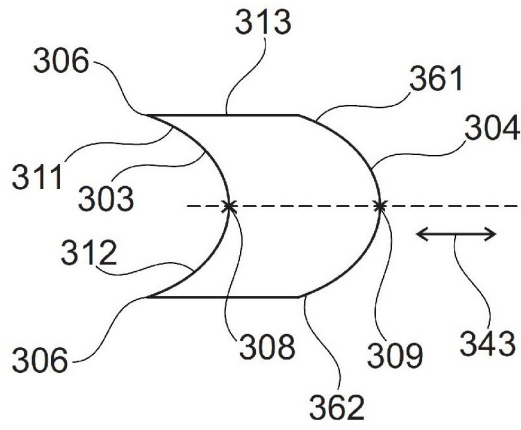


图 10A

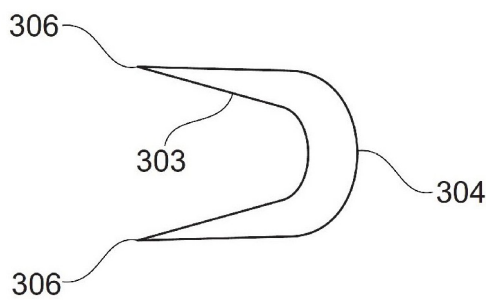


图 10B

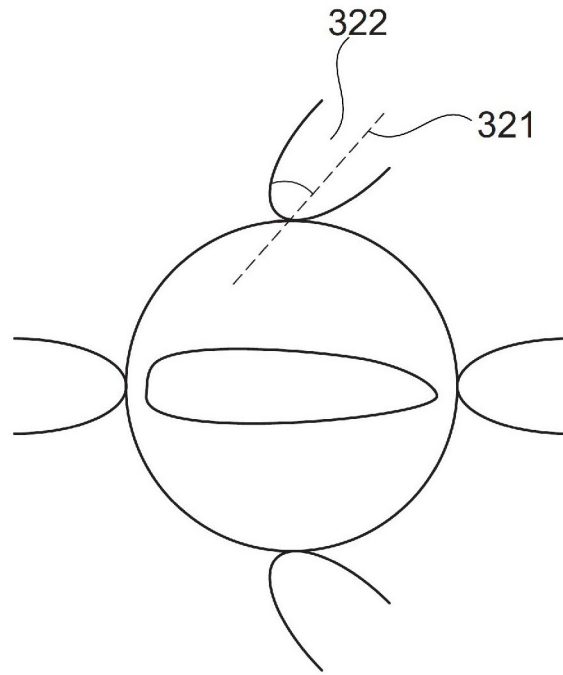


图 11

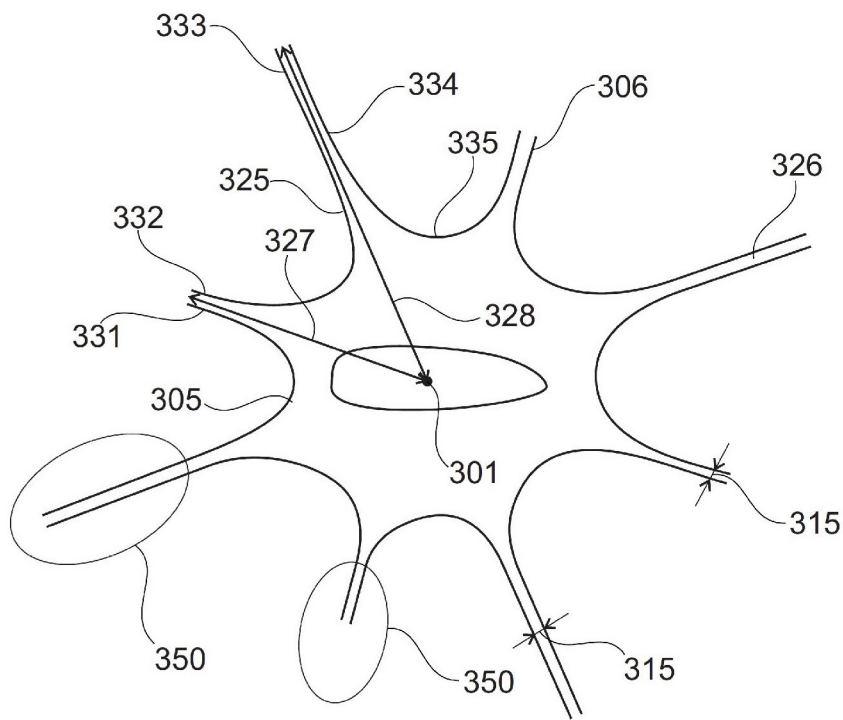


图 12A

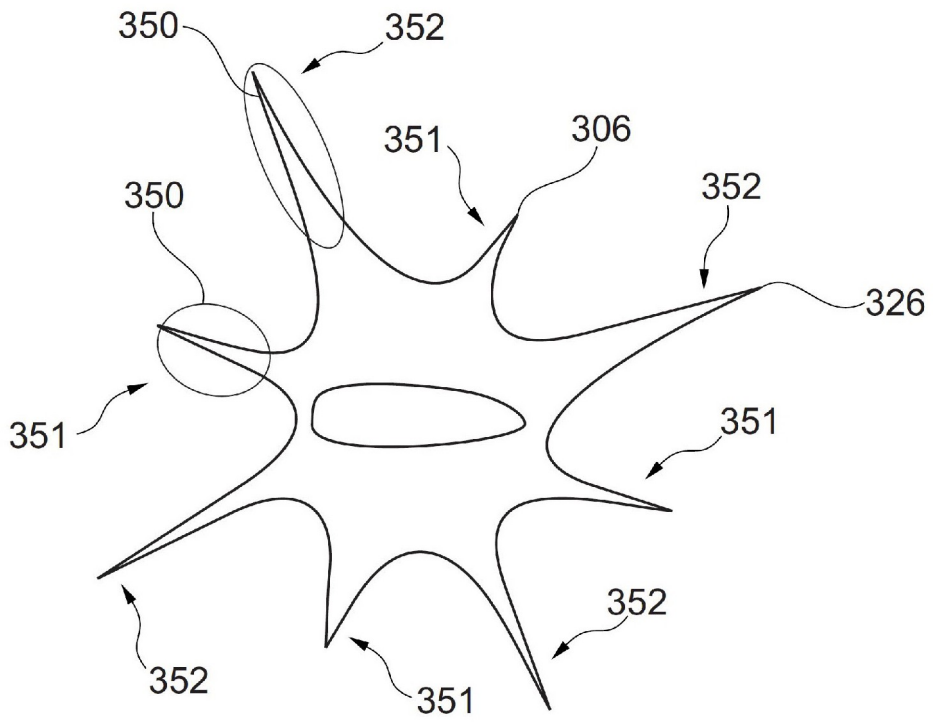


图 12B

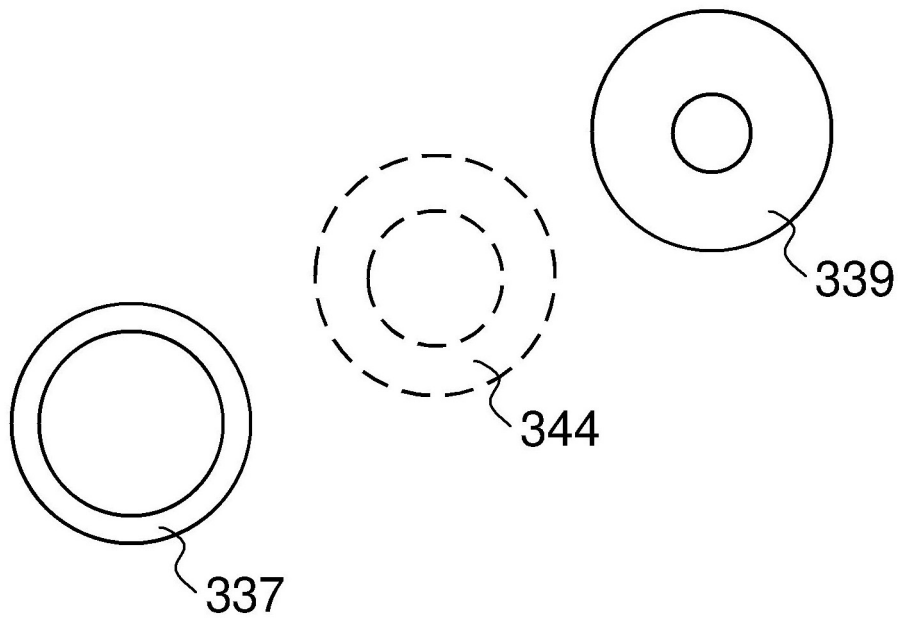


图 13A

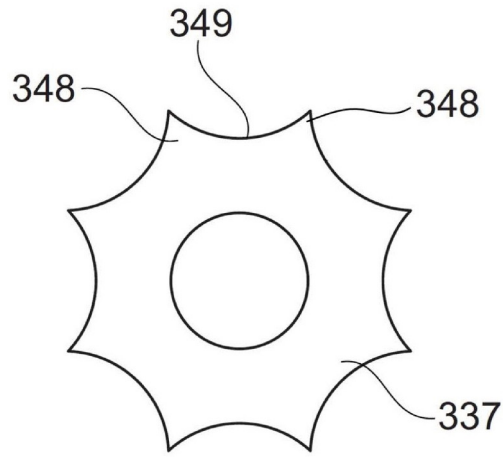


图 13B

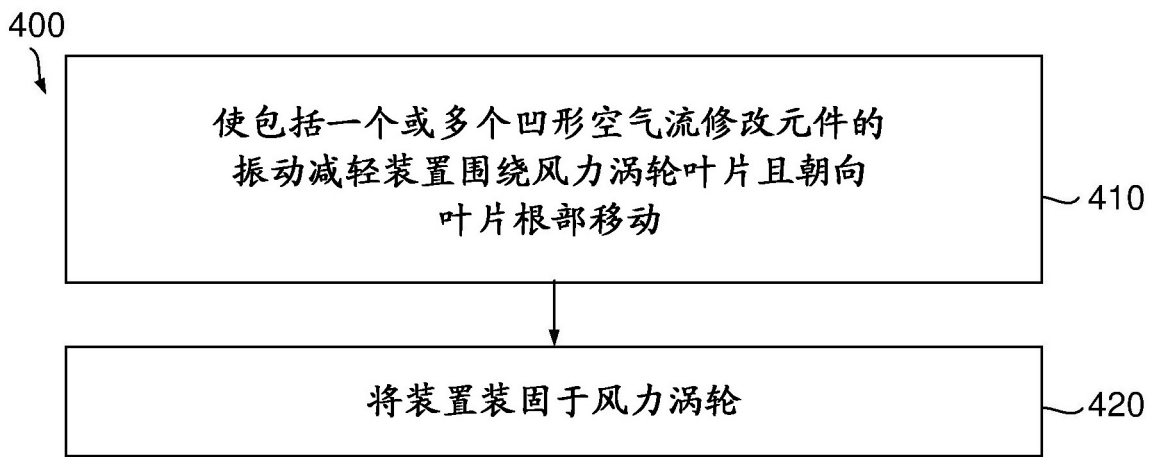


图 14