



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109751189 B

(45) 授权公告日 2022.04.19

(21) 申请号 201711085507.1

审查员 邵长慧

(22) 申请日 2017.11.07

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109751189 A

(43) 申请公布日 2019.05.14

(73) 专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 田新亮 王新茹 肖龙飞 卢文月
彭涛

(74) 专利代理机构 上海旭诚知识产权代理有限公司 31220

代理人 郑立

(51) Int. Cl.

F03D 9/25 (2016.01)

F03D 1/06 (2006.01)

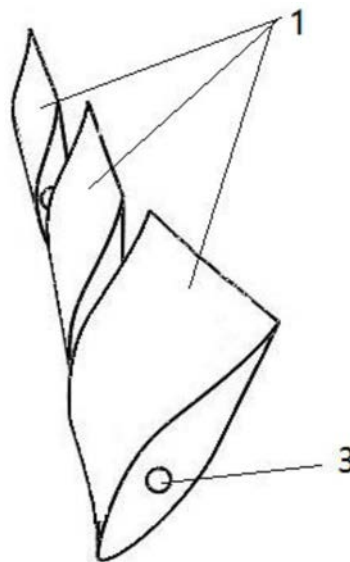
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种风力发电机及其叶片

(57) 摘要

一种风力发电机,其特征在于,包括风轮,其包括叶片和连接件;和机舱,其包括主轴,通过所述连接件与所述叶片连接,和与所述主轴连接的发电机,将所述叶片产生的扭力通过所述主轴转化为电能。当风速超过预定程度时,所述叶片偏转一定的角度,所述叶片的受力面减小,使所述叶片受到的扭力得到调节,从而稳定所述发电机的输出电流在一定范围内。本发明可广泛应用于风载荷较不稳定的海上风场,具有保证电流稳定输出、对发电机组的要求小、降低叶片的疲劳损害、延长风力发电机的服役寿命、降低制造成本等诸多优点。



1. 一种风力发电机,其特征在于,包括
风轮,其包括叶片和连接件;

机舱,其包括主轴,通过所述连接件与所述叶片连接,和与所述主轴连接的发电机,将所述叶片带来的扭力通过所述主轴转化为电能,

当风速超过预定程度时,所述叶片偏转一定的角度,所述叶片的受力面减小,使所述叶片受到的扭力得到调节;

所述叶片包括多个叶片段、将多个叶片段分别连接起来的连接材料和将多个叶片段和连接材料连接在一起的叶片轴;

所述叶片及叶片轴为连续柔性材料制成,当风速变大,叶片轴弯曲带动各叶片段发生不同程度的偏转,从而使所述叶片所受扭力得到调节;

在风力的作用下,所述叶片内的所述叶片轴偏离轴线发生一定程度的弯曲;

所述叶片连接轴在风力作用下发生弯曲时,所述多个叶片段随之发生不同程度的偏转;

当风速大于额定风速时,风力发电机的叶片轴在风载荷的作用下发生弯曲,由于作为内部支撑连接杆的不对称性,叶片轴在弯曲变形的同时还会伴随一定程度的扭转变形;风力发电机叶片段之间的连接材料的作用使叶片各截面会根据所受风载荷的大小发生不同程度的扭转,即偏转不同的角度,叶片各截面的桨距角随之改变,发生弯曲和扭转后的叶片各翼型截面之间也发生了相对角位移,从而实现对不同风速的自适应。

2. 一种用于风力发电的叶片,其特征在于,其中当风速超过预定程度时,所述叶片发生一定角度的偏转,所述叶片桨距角减小,使所述叶片受到的扭力得到调节;所述叶片包括多个叶片段、将多个叶片段分别连接起来的连接材料和将多个叶片段和连接材料连接在一起的叶片轴;所述叶片为连续柔性材料制成,当风速变大,叶片发生弯曲和角度偏转,从而使所述叶片输出的扭力得到调节;在风力的作用下,所述叶片轴在轴线方向上发生一定程度的弯曲;所述叶片轴发生弯曲时,所述多个叶片段的偏转角度不同;当风速大于额定风速时,风力发电机的叶片轴在风载荷的作用下发生弯曲,由于作为内部支撑连接杆的不对称性,叶片轴在弯曲变形的同时还会伴随一定程度的扭转变形;风力发电机叶片段之间的连接材料的作用使叶片各截面会根据所受风载荷的大小发生不同程度的扭转,即偏转不同的角度,叶片各截面的桨距角随之改变,发生弯曲和扭转后的叶片各翼型截面之间也发生了相对角位移,从而实现对不同风速的自适应。

一种风力发电机及其叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及机械工程风力发电机领域,具体是一种可广泛应用于现有电机的风力发电机的叶片改进,尤其适用于安装在风载荷较不稳定的海上风场。

背景技术

[0002] 风力发电机的工作原理是,风轮在风力的作用下旋转,将风的动能转变为风轮轴的机械能,发电机在与风轮连接的轴的带动下旋转发电。

[0003] 风力发电机一般由风轮,包括叶片和与轴连接的轮毂;机舱,内有低速轴、齿轮箱、高速轴和发电机。转子叶片受到风力作用旋转,从而带动低速轴运动,低速轴通过齿轮箱带动高速轴旋转,高速轴连接在发电机轴上,将机械能转变为电能。风力发电机还包括气动刹车系统以及辅助提高风能截获效率的变桨机构;还包括塔筒和基础,将机组的所受力矩传递给大地,同时起到保护电缆等辅助装置的作用。其中,风力机的叶片是将风能转化为机械能进而转化成电能的重要部件,决定着发电功率的大小和电流输出的稳定性。

[0004] 现有的风力发电机采用的叶片是由内部刚性支撑结构和表面膜组合而成的,大多由刚性材料制成。叶片普遍较长,容易导致风载荷在叶片上形成的力矩过大,使叶片发生塑性变形;其次,刚性材料叶片对风速的适应性也存在一定缺陷,在风速不稳定的风场中,风力发电机易因叶片的转速不恒定导致输出电流的不稳。

[0005] 风力发电系统由机械部分和电能转化部分组成。一般地,风力发电机的风能利用功率表达式可写成:

$$[0006] \quad P_a = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \theta) \rho_{air} \pi R^2 v^2$$

[0007] 其中, C_p 为风能利用,它是 λ 和 θ 的函数, λ 为叶尖速比, θ 为桨距角。风力机叶片的转速或者来风速度会引起 λ 的变化,影响 C_p 。而在风力机叶轮的启动转换过程中,风力机的转矩和推力系数可表示为:

$$[0008] \quad T_a = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 C_q(\lambda, \theta) v^2, \quad F_a = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_q(\lambda, \theta) v^2$$

[0009] 可知,式中的推力系数和转矩系数同样受风力机叶片转速和来风速度的影响,故风速变大时,若叶片桨距角不变,叶片所受的扭矩和阻力随之发生变化,则风力发电机转速无法保持恒定,并最终影响风力机发电功率大小和电流输出的稳定性。

[0010] 为保证风力机在不稳定风载下电流的稳定输出,一般采用调桨控制来实现不同的风速变化时发电功率的恒定。目前变速变桨风力发电机组的整个运行控制阶段大致分为三个阶段:低风速阶段,过渡阶段以及高风速阶段。当来风速度较低时,风力机叶片转速随风速变化而变化以维持最佳叶尖速比,此时桨距角恒定在最佳桨距角 β ,使风力机的转换功率最大;当风速达到风力机的额定转速时,风力机的转速基本保持恒定,桨距角仍为最优桨距角;当风速高于额定值时,风力机叶片需要发生变桨动作,桨距角发生改变,减少风力机的功率输出,从而将风力机捕获的能量基本限定在风力机的额定功率附近。

[0011] 变桨控制的具体过程基本可描述为：风力机端部的风力感应器对一定时间段内的风速进行捕获并传送至控制中心，控制中心对采集到的数据进行分析整理，当风速高于额定风速时，控制中心发出变桨指令，将信号返回到叶片终端将叶片整体扭转一定角度。

[0012] 然而，现有风力发电机通过机械结构对桨叶进行实时变桨控制的方法具有一定的局限性。一方面，风力发电机叶片的机械结构和控制技术复杂、成本高，复杂的控制结构还会导致系统的可靠性降低、故障增多、维护成本增大。另一方面，根据实际分析，由于距受风面中的距离不同，各叶片截面的风能转化系数各异，因而实现功率最大化所需的桨距角也互不相同。而目前风力发电机所采用的变桨控制是让整个桨叶按照同一个角度扭转，无法让整个桨叶实现风能捕获功率的最大化，且控制桨叶扭转还需要消耗额外的能量。

发明内容

[0013] 鉴于现有风力发电机叶片变桨控制的缺陷，本发明提供了一种风力发电机，其特征在于，包括风轮，其包括叶片和连接件；和机舱，其包括主轴，通过所述连接件与所述叶片连接，和与所述主轴连接的发电机，将所述叶片所受的扭力通过所述主轴转化为电能，当风速超过预定程度时，所述叶片偏转一定的角度，所述叶片的桨距角发生改变，使所述叶片受到的扭力得到调节，从而稳定所述发电机的输出电流在一定范围内。

[0014] 其中，所述叶片包括多个叶片段、将多个叶片段分别连接起来的连接材料和将多个叶片段和连接材料连接在一起的叶片轴。在风力的作用下，所述叶片在所述叶片轴的带动下发生弯曲，所述多个叶片段发生不同角度的偏转，从而使所述叶片输出的扭力得到调节。

[0015] 本发明揭露了一种用于风力发电的叶片，其特征在于，当风速超过预定程度时，所述叶片偏转角度，所述叶片的桨距角发生改变，使所述叶片受到的扭力得到调节。

[0016] 其中，所述叶片包括多个叶片段，将多个叶片段分别连接起来的连接材料，和将多个叶片段和连接材料连接在一起的叶片轴。在风力的作用下，所述叶片轴在轴线方向上发生弯曲，所述多个叶片段的偏转角度不同。

[0017] 在另一个实施例中，所述叶片为连续柔性材料制成，当风速变大，叶片的弯曲并且发生偏转，从而使所述叶片所受扭力得到调节。

[0018] 本发明基于桨叶结构的自身柔性来适应不同风速变化，完全取代了目前普遍使用的变桨距控制桨叶的风力发电机方案。相比之下，本方案的优点如下：

[0019] 1. 免去了精密的变桨齿轮箱等复杂的机械结构，降低了设备故障率，降低了维护成本。

[0020] 2. 不依赖于复杂的变桨控制策略，具有风速自适应性。完全避免了由于变桨控制系统失效而引起的风力发电机故障或损坏。

[0021] 3. 免去了变桨控制对电源的消耗。

[0022] 本发明可广泛应用于风载荷较不稳定的海上风场，具有保证电流稳定输出、对发电机组的要求小、降低叶片的疲劳损害、延长风力发电机的服役寿命、降低制造成本等诸多优点。

附图说明

[0023] 图1是本发明具体实施方式中的风力发电机,当风速为V1时的风力发电机的状态示意图;

[0024] 图2是本发明具体实施方式中的风力发电机的机舱示意图;

[0025] 图3是本发明具体实施方式中的风力发电机叶片,当风速为V1时的叶片状态示意图;

[0026] 图4是本发明一个具体实施方式中的风力发电机叶片,当风速为V2时的叶片轴的弯曲、扭转示意图;

[0027] 图5是本发明一个具体实施方式中的风力发电机叶片,当风速为V2时的各叶片段相对扭转状态示意图。

具体实施方式

[0028] 为帮助本领域的技术人员能够确切地理解本发明所要求保护的主体,下面结合附图详细描述本发明的具体实施方式。在以下对这些具体实施方式的详细描述中,本说明书对一些公知的功能或构造不做详细描述以避免不必要的细节而影响到本发明的披露。

[0029] 本发明在原有风力发电机构造的基础上,提出了一种柔性叶片风力发电机的构想。通过设计柔性风力发电机叶片,使风力发电机叶片在不同的风速下具有很强的适应性,免去了变桨机械控制机构,在简化系统构成的同时提高了风机发电系统的可靠性,具有电流相对稳定输出、对发电机组的要求小、延长风机的服役寿命、降低制造成本等诸多优点,可广泛应用于风速不稳定的风场。

[0030] 为了实现风力发电机叶片的柔性变形,需要对风力发电机的叶片进行气动性能和结构性能的耦合设计。风力发电机叶片在轴线上还应保持足够的弯曲刚度来保证风力发电机叶片在旋转时不要与风力发电机塔架碰撞。风力发电机叶片在顺着轴线的扭转方向,应设计为具有柔性的结构,即,随着风速的增加,叶片各段所受风载荷也增加,叶片各截面会根据所受风载荷的大小发生不同程度的扭转,从而减小风载荷,实现对不同风速的自适应。

[0031] 柔性扭转叶片的设计借助弹性系统分析方法、流体力学、多体动力学等,实现运转风力发电机的动态平衡。具体实现方法有多种方案,举例如下:

[0032] 1.分段叶片设计。将现有的刚性叶片沿着轴线且为多段,然后采用柔性连接件连接。该连接件具较大的轴向弯曲刚度,可以控制整个叶片在轴向上的变形量;但具有较小的扭转刚度,可以实现相邻两个叶片相对扭转。用多个此类连接件将风力发电机叶片片段组合起来,即可实现本专利所述的风力发电机叶片效果。

[0033] 2.连续性的柔性叶片设计。柔性风力发电机叶片的设计要求对内部支撑结构进行明显的不对称性设计,使得叶片在受到风载荷作用时在轻微的弯曲变形基础上即可发生显著的扭转变形。即,当风速变大,叶片发生弯曲和角度偏转,从而使所述叶片输出的扭力得到调节。

[0034] 风速增加时,风力发电机的叶片受到的风载荷增大,叶片发生特定程度的柔性弯曲,叶片偏转角度增大,桨距角发生变化,风力发电机的叶片的受风面积相应减小,保证叶片所受扭力不变,从而使不同风速下的风力发电机的叶片的转速保持一致。与叶片相连接的主轴和与主轴通过齿轮箱连接的高速轴即可进行匀速转动,进而保证与高速轴相连的发

电机的输出电流稳定。在保证电流稳定输出的同时,由于不同转速造成的齿轮磨合形成的损伤也会相应减小,使机组零件的使用寿命延长。同时,柔性叶片的弹塑性较好,不易发生塑性变形进而导致断裂。因此,对风力发电机的叶片的使用寿命方面也具有一定的优势。

[0035] 该自适应风速的风力发电机的优势在于:风力发电机的叶片及叶片轴与以往的刚性材料不同,具有一定程度的柔性,在不同风速情况下,叶片轴会出现不同的弯曲响应,与之相连接的叶片也相应发生角度偏转。风速越大,弯曲程度越大,叶片偏转角度越大,风力发电机的受风面积相应减小,由叶素理论可知,扭力保持不变,从而使不同风速下风力发电机的主轴转速保持一致。

[0036] 在一个实施例中,风速增加时,风力发电机的叶片受到的风载荷增大,叶片轴发生特定程度的柔性弯曲,与之相连接的叶片段发生不同程度的偏转,距离机舱越远的叶片段,偏转角度越大,风力发电机的叶片的受风面积相应减小,叶片整体所受扭力变换受到抑制,从而使不同风速下的风力发电机的叶片的转速被控制在一定范围内,使与叶片相连接的主轴和与主轴通过齿轮箱连接的高速轴的转动,从而保证与高速轴相连的发电机的输出电流稳定在一定的范围内。同时,各叶片段偏转程度的不同也符合风机叶片各处受风载不同、各叶片截面的风能转化系数各异的实际情况,可进一步有效保证风机实现功率最大化。

[0037] 如本申请附图1-5示,本发明提供了一种新的风力发电机100,其特征在于,包括风轮10,其包括叶片11和连接件12;和机舱20,其包括主轴21,通过所述连接件12与所述叶片11连接,和与所述主轴21连接的发电机22,将所述叶片11带来的扭力通过所述主轴21转化为电能,其中当风速超过预定程度时,所述叶片11偏转一个角度,所述叶片的受力面减小,使所述叶片11受到的扭力得到调节,从而稳定所述发电机22的输出电流在一定范围内。

[0038] 其中,叶片11受到风的作用力是产生旋转的力,连接件12可为齿轮传动部件,将叶片11产生的旋转的力通过连接件12传动给主轴21,主轴21带动发电机22发电,从而将机械能转变为电能。其中主轴21可直接带动发电机发电,也可以间接带动发电机发电。如在一个实施例中,机舱20还包括齿轮箱23和高速轴24,其中,齿轮箱23一端连接主轴21,另一端连接高速轴。齿轮箱23可以由一级或多级变速齿轮组成,将主轴21的转速提升数倍,由高速轴24输出。高速轴24连接发电机22,从而带动发电机发电。

[0039] 在一个实施例中,如图3所示,叶片11包括多个叶片段1,将多个叶片段1分别连接起来的连接材料2,和叶片轴3将多个叶片段1和连接材料2连接在一起。其中叶片段1可以为刚性材料制成。连接材料2可以为柔性材料或柔韧材质的材料。叶片轴3贯穿多个叶片段和连接在叶片段1之间的连接材料2。叶片轴3在轴向上具有刚度,可以控制整个叶片在轴向上的变形量或弯曲程度,同时又具有扭转方向的柔性,可以实现两个相邻叶片段的相对扭转或偏转。

[0040] 如图3所示,低风速下,风力发电机叶片11正常工作,叶片之间并未发生相对扭转或偏转。此时风力发电机的叶片的翼型截面处于同一水平线上,且翼型方向保持一致。

[0041] 如图4-5所示,当风速大于额定风速时,风力发电机的叶片轴3在风载荷的作用下发生弯曲,由于作为内部支撑连接杆的不对称性,叶片轴在弯曲变形的同时还会伴随一定程度的扭转变形。风力发电机叶片段1之间的连接材料2的作用使叶片各截面会根据所受风载荷的大小发生不同程度的扭转,即偏转不同的角度,叶片各截面的桨距角随之改变,发生弯曲和扭转后的叶片各翼型截面之间也发生了相对角位移,从而实现对不同风速的自适

应。

[0042] 叶片轴3的柔性使其在不同风速情况下会出现不同的变形响应,风速越大,叶片轴3的弯曲程度和偏转角度越大,与其相连接的叶片段1随之发生偏转,受风面积相应减小,整体叶片所受扭力保持不变,使不同风速下风力发电机11的主轴转速保持一致,从而保证与主轴21连接的发电机22的输出电流保持稳定,这种情况下的柔性叶片为自适应柔性叶片。

[0043] 所述柔性叶片轴3的柔性材料的屈服强度较大,当风速小于预设值的时,风力发电机的柔性叶片轴3在一定风载荷强度范围内不发生变形。

[0044] 当风速超过预设值时,所述的叶片则需要满足一定的变形条件,实现运转风力发电机的动态平衡,即叶片受风压作用所发生的柔性弯曲及相应的桨距角变化应符合风力发电机功率输出恒定的要求。综合以往对风力机发电功率的分析结果可知,风能的利用系数 C_p 与桨距角 β 之间的关系可表示为:

$$[0045] \quad C_p = (0.44 - 0.0167\beta) \sin \left[\frac{\pi(\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta} \right] - 0.00184(\lambda - 3)\beta$$

[0046] β 定义为叶素弦长(即翼型的前后缘连线)与风轮旋转平面的夹角。风轮叶片尖端线速度与风速之比称为叶尖速比;叶片越长,或者叶片转速越快,同风速下的叶尖速比就越大。当桨距角 β 不变时,每条风能利用系数曲线的最大值有且仅有一个,并对应唯一的叶尖速比 λ ,而叶尖速比 λ 便与叶片的转速和来风速度有关。在外界风速比额定风速小时,为了使风力机获得的风能更大,就要使桨距角最小,发电机的转速会随着外界风速的变化而进行调节;当外界风速比额定风速大时,控制系统通过调节桨叶节距角的大小使发电机的输出功率稳定。

[0047] 上述风能利用系数 C_p 与桨距角 β 之间的关系式可作为选择叶片构造材料的依据。所以,本发明选择的叶片,需要满足上述公式,从而保证,在不同的风速下,叶片整体受到的扭力恒定,从而保证发电机输出的电流保持稳定。用多个此类连接件将风力发电机的叶片段1组合起来,即可实现本专利所述的风力发电机叶片效果。本发明的连接材料2和3可以为塑料,树脂,金属丝网或金属结构件制成。

[0048] 同时,所述柔性叶片轴3的柔性材料的屈服强度较大,在强风作用消失时,柔性叶片轴3可自行回复到初始状态,不发生塑性变形。

[0049] 在一个实施例中,叶片11有三个,有间隔地均匀分布,三个叶片11通过轮毂安装在一起,通过连接件12共同带动主轴21旋转。这是,主轴带动齿轮箱的变速齿轮运动,将速度提升至高速轴,高速轴带动发电机发电,输出恒定电流。

[0050] 如图1-3所示,风力发电机100还包括塔架30,叶片11需要在一定的高度上才能获得较大较稳定的风力。在空中,叶片11形成的风轮与机舱20要靠塔架30支撑,塔架30的高度约为叶轮直径的1至1.5倍,小型微型风力机的塔架相对风轮会更高些。塔架需要高强度也要考虑造价,微型风力机是铁管加拉线,中小型风力机有采用桁架型的也有采用管柱型的,大型风力机基本采用管柱型的。大型风力机的管柱型塔架主要采用钢筋混凝土结构或钢结构,但钢塔架运输困难,可现场制作的混凝土塔架逐渐推广。塔架内敷设有发电机的电力电缆、控制信号电缆等,塔底有塔门,塔架内分若干层,层间有直梯便于人员上下。

[0051] 虽然结合特定的具体实施方式对本发明进行了详细说明,但本领域的技术人员可以理解,对本发明可以做出许多修改和变型。因此,要认识到,权利要求书的意图在于覆盖

在本发明真正构思和范围内的所有这些修改和变型。

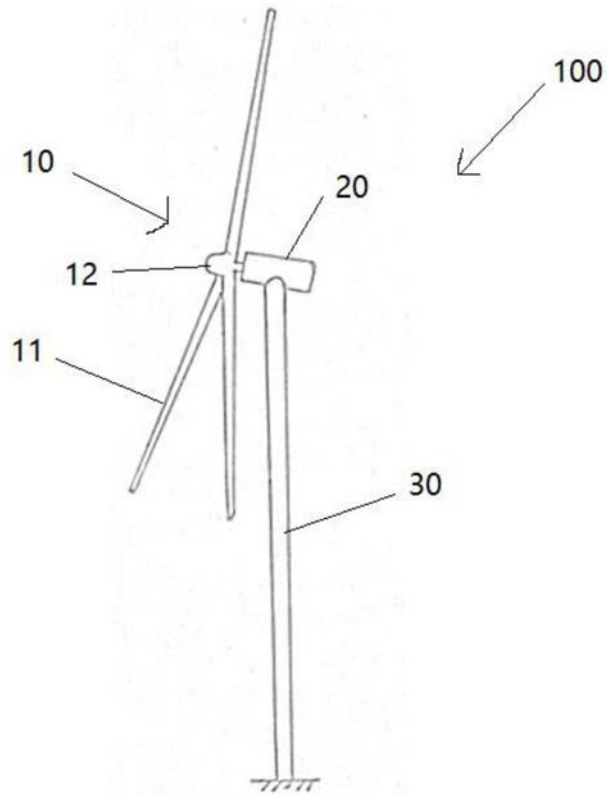


图1

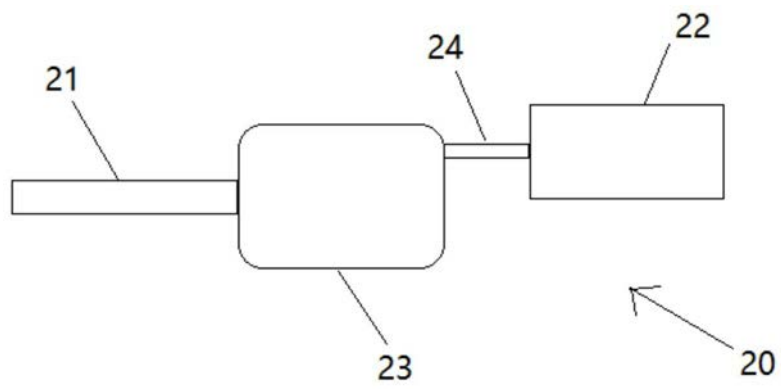


图2

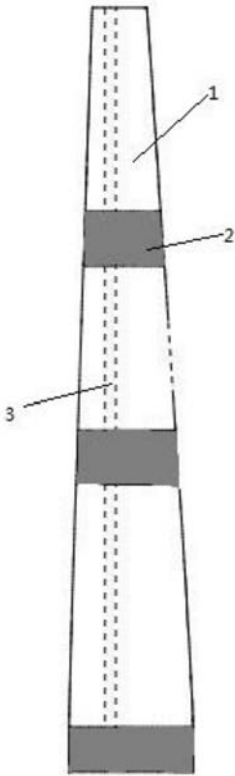


图3

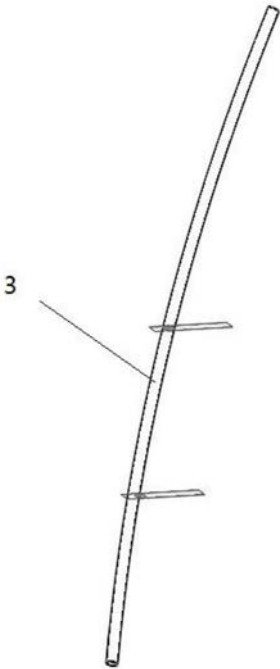


图4

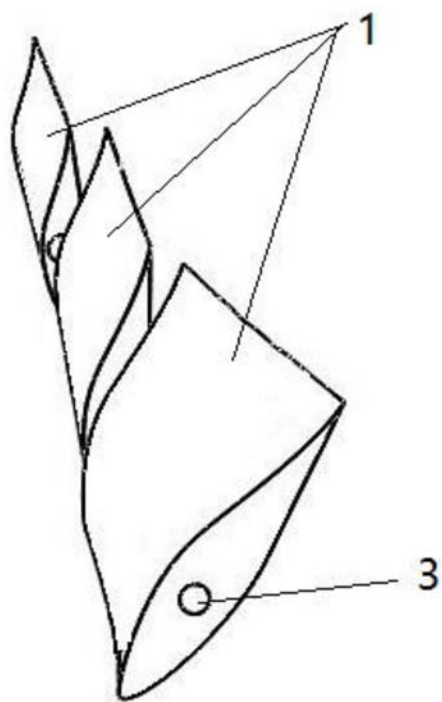


图5