



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106321347 A

(43)申请公布日 2017.01.11

(21)申请号 201610995322.3

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2016.11.11

F03D 1/06(2006.01)

(71)申请人 安徽新力电业科技咨询有限责任公司

地址 230022 安徽省合肥市蜀山区金寨路73号

申请人 国网安徽省电力公司电力科学研究院
国家电网公司

(72)发明人 张骏 余永生 陈剑 杨骏 李勇
陈鑫 丛星亮 谢红

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有限责任公司 34101

代理人 何梅生

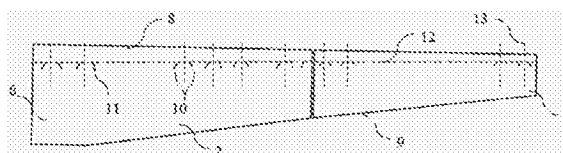
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种风力机涡流发生器

(57)摘要

本发明公开了一种风力机涡流发生器,是在叶片的吸力面上设置涡流发生器,其特征是:设置构成涡流发生器的翼片呈矩形,每两片矩形翼片以涡流发生器的展向定位线为轴对称构成呈“八”字的涡流单元;矩形翼片在吸力面上呈直立,每一矩形翼片与吸力面之间形成独立的粘合层,使各涡流单元在吸力面上自叶根部至叶顶部沿弦向定位线间隔且均匀分布。本发明采用矩形翼片,优化矩形翼片在叶片上的布置形式,从而产生强大的涡流,获得更好的气动性能。



1. 一种风力机涡流发生器,所述风力机为上风向水平轴风力机(1),叶片(2)与轮毂(3)相连,轮毂(3)通过转轴与机舱(4)相连,机舱(4)固定在塔筒(5)上;所述叶片(2)具有叶根部(6)、叶顶部(7)、叶片前缘(8)、叶片尾缘(9),在叶片的吸力面(20)上设置涡流发生器,其特征是:设置构成涡流发生器的翼片呈矩形,每两片矩形翼片(11)以涡流发生器的展向定位线(13)为轴对称构成呈“八”字的涡流单元(10);将风力机叶片各截面翼型吸力面表面离叶片前缘 $0.1c$ 至 $0.2c$ 处连成的线定义为涡流发生器的弦向定位线(12),各矩形翼片(11)的翼片前端(16)处于所述弦向定位线(12)所在位置处,各矩形翼片(11)在吸力面(20)上呈直立,并且以翼片底面(15)粘结在吸力面(20)上,每一矩形翼片(11)与吸力面(20)之间形成独立的粘合层(18),使各涡流单元(10)在吸力面(20)上自叶根部(6)至叶顶部(7)沿弦向定位线(12)间隔且均匀分布; c 为展向定位线(13)所在位置处叶片截面上的翼型弦长。

2. 根据权利要求1所述的风力机涡流发生器,其特征是:在所述矩形翼片(11)上,位于翼片顶边(14)的前沿和后沿,分别设置为倒角。

3. 根据权利要求1所述的风力机涡流发生器,其特征是:所述叶片(2)为变截面扭叶片,叶片长度不小于 $10m$ 。

4. 根据权利要求1所述的风力机涡流发生器,其特征是:对于失速型风力机,各涡流单元(10)在整个叶片上均匀布置,所述整个叶片是指自叶根部至叶顶部的整个叶片位置;对于变桨型风力机,各涡流单元(10)自在叶片最大弦长位置到叶顶部之间均匀布置。

5. 根据权利要求1所述的风力机涡流发生器,其特征是:定义:矩形翼片(11)的高度为 H ,矩形翼片(11)的长度为 L ,翼片底面(15)的边线与展向定位线(13)之间的夹角为 α ,在一个涡流单元(10)中,两只矩形翼片在翼片前端(16)位置处的展向距离为 a ;在相邻的两个涡流单元中,处在中间的两只翼片的翼片前端(16)位置处的展向间隔为 b ;

设置: $L/c=0.02-0.03$, $H/c=0.005-0.0075$, $\alpha=15^{\circ}-25^{\circ}$, $a=10mm-20mm$, $b=2a$ 。

6. 根据权利要求1所述的风力机涡流发生器,其特征是:自叶根部朝向叶顶部,各矩形翼片(11)的尺寸逐渐变小,且同一涡流单元(10)中的两片矩形翼片尺寸相同。

7. 一种权利要求1所述的风力机涡流发生器的数值模拟方法,其特征是:定义:矩形翼片(11)的高度为 H ,矩形翼片(11)的长度为 L ,翼片底面(15)的边线与展向定位线(13)之间的夹角为 α ,在一个涡流单元(10)中,两只矩形翼片在翼片前端(16)位置处的展向距离为 a ;在相邻的两个涡流单元中,处在中间的两只翼片的翼片前端(16)位置处的展向间隔为 b ;所述数值模拟方法是:

将叶片(2)的二维翼型沿着垂直于翼型截面的方向延长,得到三维直叶片段(28);在上述数值模拟中,将风力机叶片各截面翼型吸力面表面离前缘 $0.2c$ 处连成的线定义为涡流发生器的弦向定位线(12);设置: $a=15mm$, $b=30mm$, $\alpha=20^{\circ}$, $L/H=4$, $L/c=0.025$, $c=1000mm$,完成数值模拟的几何建模获得几何模型;利用网格建模软件对于几何模型进行全结构化网格建模得到网格模型;再利用计算流体动力学软件对于网格模型进行风力机涡流发生器的数值模拟。

一种风力机涡流发生器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于风力机叶片的涡流发生器。

背景技术

[0002] 风力机是实现将风中蕴含动能转变为叶片旋转机械能进而转变为电能的动力机械。风力机叶片是风力机的核心部件,其气动性能是衡量叶片优劣的重要指标。

[0003] 随着风电产业的发展与进步和研究的深入,风电单机容量不断增大,风力机尺寸不断增加,风力机的叶型也越来越复杂,在来流攻角比较大的情况下,或者在脉动风的影响,风力机叶片的上表面将发生分离,使得叶片的气动特性严重恶化。对风力机高气动性能的追求,刺激了预弯、变扭、后掠、柔性及自适应等叶片新技术的产生与发展。

[0004] 风力机附近流场十分复杂,风剪切、风偏航引起的不对称入流和湍流等因素引起的非定常入流等都能使叶片表面出现流动分离,在叶片表面增加流动控制装置例如涡流发生器成为大势所趋。

[0005] 涡流发生器(Vortex Generator, VG)用于防止气流分离,安装在翼面或机身上产生小旋涡的翼片。涡流发生器最早是美国联合飞机公司的Bmynes和Tyalr提出,首先用于航空飞机机翼,之后延伸至风力机叶片。

[0006] 已经公开的相关文献中,涡流发生器普遍采用三角形翼片,但其在气动性能仍然有待提升。

发明内容

[0007] 本发明是为避免上述现有技术所存在的不足,提供一种用于风力机叶片的风力机涡流发生器,以期产生较大的涡流,提升叶片的气动性能。

[0008] 本发明为解决技术问题采用如下技术方案:

[0009] 本发明风力机涡流发生器中风力机为上风向水平轴风力机,叶片与轮毂相连,轮毂通过转轴与机舱相连,机舱固定在塔筒上;所述叶片具有叶根部、叶顶部、叶片前缘、叶片尾缘,在叶片的吸力面上设置涡流发生器;

[0010] 本发明风力机涡流发生器的结构特点是:设置构成涡流发生器的翼片呈矩形,每两片矩形翼片以涡流发生器的展向定位线为轴对称构成呈“八”字的涡流单元;将风力机叶片各截面翼型吸力面表面离叶片前缘 $0.1c$ 至 $0.2c$ 处连成的线定义为涡流发生器的弦向定位线,各矩形翼片的翼片前端处于所述弦向定位线所在位置处,各矩形翼片在吸力面上呈直立,并且以翼片底面粘结在吸力面上,每一矩形翼片与吸力面之间形成独立的粘合层,使各涡流单元在吸力面上自叶根部至叶顶部沿弦向定位线间隔且均匀分布; c 为展向定位线所在位置处叶片截面上的翼型弦长。

[0011] 本发明风力机涡流发生器的结构特点也在于:在所述矩形翼片上,位于翼片顶边的前沿和后沿,分别设置为倒角。

[0012] 本发明风力机涡流发生器的结构特点也在于:所述叶片为变截面扭叶片,叶片长

度不小于10m。

[0013] 本发明风力机涡流发生器的结构特点也在于:对于失速型风力机,各涡流单元在整个叶片上均匀布置,所述整个叶片是指自叶根部至叶顶部的整个叶片位置;对于变桨型风力机,各涡流单元自在叶片最大弦长位置到叶顶部之间均匀布置。

[0014] 本发明风力机涡流发生器的结构特点也在于:定义:矩形翼片的高度为H,矩形翼片的长度为L,翼片底面的边线与展向定位线之间的夹角为 α ,在一个涡流单元中,两只矩形翼片在翼片前端位置处的展向距离为a;在相邻的两个涡流单元中,处在中间的两只翼片的翼片前端位置处的展向间隔为b。

[0015] 设置: $L/c=0.02-0.03$, $H/c=0.005-0.0075$, $\alpha=15^{\circ}-25^{\circ}$, $a=10\text{mm}-20\text{mm}$, $b=2a$ 。

[0016] 本发明风力机涡流发生器的结构特点也在于:自叶根部朝向叶顶部,各矩形翼片的尺寸逐渐变小,且同一涡流单元中的两片矩形翼片尺寸相同。

[0017] 本发明风力机涡流发生器的数值模拟方法的特点是:

[0018] 定义:矩形翼片的高度为H,矩形翼片的长度为L,翼片底面的边线与展向定位线之间的夹角为 α ,在一个涡流单元中,两只矩形翼片在翼片前端位置处的展向距离为a;在相邻的两个涡流单元中,处在中间的两只翼片的翼片前端位置处的展向间隔为b;

[0019] 所述数值模拟方法是:

[0020] 将叶片的二维翼型沿着垂直于翼型截面的方向延长,得到三维直叶片;在所述数值模拟中,将风力机叶片各截面翼型吸力面表面离前缘 $0.2c$ 处连成的线定义为涡流发生器的弦向定位线;设置: $a=15\text{mm}$, $b=30\text{mm}$, $\alpha=20^{\circ}$, $L/H=4$, $L/c=0.025$, $c=1000\text{mm}$,完成数值模拟的几何建模获得几何模型;利用网格建模软件对于几何模型进行全结构化网格建模得到网格模型;再利用计算流体动力学软件对于网格模型进行风力机涡流发生器的数值模拟。

[0021] 与已有技术相比,本发明有益效果体现在:

[0022] 1、本发明采用矩形翼片,优化矩形翼片在叶片上的布置形式,从而产生强大的涡流,获得更好的气动性能;其各矩形翼片与吸力面之间独立粘合,结构牢固可靠,易于更换,并能保证叶片吸力面的流动性。

[0023] 2、本发明在翼片顶边的前沿和后沿设置倒角,一方面提高使用安全。

[0024] 3、本发明自叶根部朝向叶顶部,各矩形翼片的尺寸逐渐变小,可以更进一步提高流动控制的效果。

[0025] 4、本发明根据风力机类型确定涡流发生器的布置方案,针对性强。

附图说明

[0026] 图1为本发明中安装有涡流发生器的风力机叶片的平面示意图;

[0027] 图2为本发明中安装有涡流发生器的风力机叶片的立体结构示意图;

[0028] 图3为本发明中安装有涡流发生器的风力机叶片的断面视图;

[0029] 图4为本发明中涡流发生器分布示意图;

[0030] 图5为本发明中数值模拟的几何模型示意图;

[0031] 图6为本发明中风力机示意图;

[0032] 图7为S809翼型涡流发生器升力计算结果图;

- [0033] 图8为S809翼型涡流发生器阻力计算结果图；
- [0034] 图9为某1.5MW风力机翼型涡流发生器升力计算结果图；
- [0035] 图10为某1.5MW风力机翼型涡流发生器阻力计算结果图；
- [0036] 图中标号：1风力机，2叶片，3轮毂，4机舱，5塔筒，6叶根部，7叶顶部，8叶片前缘，9叶片尾缘，10涡流单元，11矩形翼片，12弦向定位线，13展向定位线，14翼片顶边，15翼片底面，16翼片前端，17翼片后端，18粘合层，19截面翼型，20吸力面，21压力面，22翼型弦长，23翼片高度，24翼片长度，25夹角，26展向距离，27展向间隔，28三维直叶片段。

具体实施方式

[0037] 参见图6，本实施例中风力机为上风向水平轴风力机1，叶片2与轮毂3相连，轮毂3通过转轴与机舱4相连，机舱4固定在塔筒5上。

[0038] 参见图1，叶片2具有叶根部6、叶顶部7、叶片前缘8、叶片尾缘9、截面翼型19、吸力面20和压力面21，在叶片的吸力面20上设置涡流发生器。

[0039] 参见图1、图2、图3和图4，设置构成涡流发生器的翼片呈矩形，每两片矩形翼片11以涡流发生器的展向定位线13为轴对称构成呈“八”字的涡流单元10；将风力机叶片各截面翼型19的吸力面20的表面、离叶片前缘8的距离为 $0.1c$ 至 $0.2c$ 处连成的线定义为涡流发生器的弦向定位线12，各矩形翼片11的翼片前端16处于弦向定位线12所在位置处，各矩形翼片11在吸力面20上呈直立，并且以翼片底面15粘结在吸力面20上，每一矩形翼片11与吸力面20之间形成独立的粘合层18，使各涡流单元10在吸力面20上自叶根部6至叶顶部7沿弦向定位线12间隔且均匀分布； c 为展向定位线13所在位置处叶片截面上的翼型弦长22。

[0040] 具体实施中，相应的结构设置也包括：

[0041] 在矩形翼片11上，位于翼片顶边14的前沿和后沿分别设置为倒角，即分处在翼片前端16和翼片后端17与翼片顶边14的转角位置上设置为倒角；叶片2为变截面扭叶片，叶片长度不小于10m。

[0042] 对于失速型风力机，各涡流单元10在整个叶片上均匀布置，整个叶片是指自叶根部至叶顶部的整个叶片位置；对于变桨型风力机，其一般为大型风力机，叶片根、中部的翼型多采用厚翼型，这种翼型增加了横截面的面积以及弯曲惯性矩，在牺牲了最大升力系数的同时具有良好的失速特性及稳定性，因此采用涡流发生器部分叶片布置，即涡流单元10自在叶片最大弦长位置到叶顶部之间均匀布置。

[0043] 定义：矩形翼片11的翼片高度23为 H ，矩形翼片11的翼片长度24为 L ，翼片底面15的边线与展向定位线13之间的夹角25为 α ，在一个涡流单元10中，两只矩形翼片在翼片前端16位置处的展向距离26为 a ；在相邻的两个涡流单元中，处在中间的两只翼片的翼片前端16位置处的展向间隔27为 b ；设置： $L/c=0.02-0.03$ ， $H/c=0.005-0.0075$ ， $\alpha=15^\circ-25^\circ$ ， $a=10\text{mm}-20\text{mm}$ ， $b=2a$ 。

[0044] 本实施例中风力机叶片为变截面扭叶片，叶片不同展向位置的截面翼型的弦长会发生变化，考虑到最优的流动控制效果，自叶根部朝向叶顶部，各矩形翼片11的尺寸逐渐变小，且同一涡流单元10中的两片矩形翼片尺寸相同。

[0045] 本实施例中风力机涡流发生器的数值模拟方法是：

[0046] 定义：矩形翼片11的高度为 H ，矩形翼片11的长度为 L ，翼片底面15的边线与展向定

位线13之间的夹角为 α ，在一个涡流单元10中，两只矩形翼片在翼片前端16位置处的展向距离为 a ；在相邻的两个涡流单元中，处在中间的两只翼片的翼片前端16位置处的展向间隔为 b ；按如下方法实现风力机涡流发生器的数值模拟：

[0047] 将叶片2的二维翼型沿着垂直于翼型截面的方向延长，得到三维直叶片28；在数值模拟中，将风力机叶片各截面翼型吸力面表面离前缘 $0.2c$ 处连成的线定义为涡流发生器的弦向定位线12；设置： $a=15\text{mm}$ ， $b=30\text{mm}$ ， $\alpha=20^\circ$ ， $L/H=4$ ， $L/c=0.025$ ， $c=1000\text{mm}$ ，完成数值模拟的几何建模获得几何模型；利用网格建模软件对于几何模型进行全结构化网格建模得到网格模型；再利用计算流体动力学软件对于网格模型进行风力机涡流发生器的数值模拟。

[0048] 具体实施中，涡流发生器的数量按如下方式确定：

[0049] 针对失速型风力机，风涡流发生器在整个叶片的长度 l 上均匀分布，针对变桨型风力机，风涡流发生器在叶片最大弦长位置到叶顶部之间均匀布置。

[0050] 初步设定展向距离26为 a_0 ，展向间隔27为 b_0 ，并且 $a_0=10\text{mm}-20\text{mm}$ ， $b_0=2a_0$ 。

[0051] 计算涡流发生器初设数量 n_0 为： $n_0=1/(a_0+b_0)$ ，将 n_0 取整为 n_1 ，再优选设定涡流发生器数量 n 为 $5n_1$ ，由如下式(1)和式(2)确定实际的展向距离26为 a ，以及展向间隔27为 b ：

$$[0052] \quad 1/n=a+b \quad (1)$$

$$[0053] \quad b=2a \quad (2)$$

[0054] 具体实施中，涡流发生器中矩形翼片的尺寸按如下方式确定：

[0055] 初步设定涡流发生器的矩形翼片的高度23为 H_0 ，长度24为 L_0 ，单位均为毫米，则有：

$$[0056] \quad L_0=x_1c \quad (3)$$

$$[0057] \quad H_0=x_2c \quad (4)$$

[0058] 并有： $x_1=0.02-0.03$ ， $x_2=0.005-0.0075$ 。

[0059] 考虑到实际涡流发生器的生产实际，对于 L_0 和 H_0 分别进行取整即得到涡流发生器的矩形翼片的实际长度 L 和高度 H 。

[0060] 根据风力机空气动力学中的叶素动量理论，叶片沿展向分为多个叶素，各叶素相对独立，互不影响，可视为二维翼型。

[0061] 通过计算流体动力学的方法Computational Fluid Dynamics, CFD, 验证涡流发生器的流动控制效果。CFD方法是通过数值迭代手段，对流场中的控制方程，如连续方程、动量守恒方程或能量守恒方程进行直接求解过程，最终得到气动参数。

[0062] 由风力机空气动力学中的叶素动量理论可知，可以通过计算作用在每一段叶素上的气动载荷从而得到作用在整个叶片上的气动载荷。因此可以对叶片的数值模拟可以通过对翼型的模拟来反映。

[0063] 本实施例针对失速型Phase VI风力机的S809翼型和某1.5MW风力机30%相对厚度截面的二维翼型进行数值模拟，计算结果如图7、图8图9和图10所示。

[0064] 由于涡流发生器沿叶片展向的平移周期性，本实施例将二维翼型沿垂直于翼型截面延长一定长度，得到一个三维的直叶片，然后在叶片模型布置矩形涡流发生器，得到模拟的几何模型。然后对其构建结构化网格，最后运用CFD软件进行数值计算。

[0065] 图7给出了设置有涡流发生器的三维S809翼型(VGs)的升力系数，并且与不设置涡流发生器的翼型的计算结果(NO_VG)进行对比。在小攻角下(小于 9.22°)，翼型表面基本不

发生分离,涡流发生器对翼型略微增大了翼型的升力。随着攻角的增大,翼型表面逐渐发生分离,涡流发生器逐渐提升了翼型的升力,同时延迟了失速攻角,最大升力系数由1.121提升到1.34,提升幅度达到11.6%。

[0066] 图8给出了设置涡流发生器的三维S809翼型(VGs)的升力系数,并与不设置涡流发生器的翼型的计算结果(NO_VG)进行对比。在小攻角工况(小于 9.22°),涡流发生器由于自身的形状阻力,会使翼型阻力有轻微的增加。随着攻角增加,在 $9.22^\circ\sim 16.22^\circ$ 攻角范围内,由于涡流发生器延缓了边界层的分离,从而减小了翼型阻力。随着攻角持续增大,翼型上表面分离区逐渐增大,分离点逐渐前移,当攻角增大到 17.21° 以后,分离点前移到前缘20%c以内,这时流体在流经涡流发生器之前已经发生分离,涡流发生器没有起到减阻的效果,因而翼型阻力增大。

[0067] 图9给出了设置涡流发生器的某1.5MW风力机翼型(VGs)的升力系数,并与不设置涡流发生器的翼型的计算结果(NO_VG)和实验值(EXP)进行对比。在小攻角工况(小于 10°),涡流发生器对翼型升力影响不大(略有增大), 12° 攻角以后,翼型表面发生分离,此时涡流发生器起到了延缓流动分离和增加翼型升力的作用,这与S809翼型的计算结果相似。不同的是,由于该风力机翼型是大厚度钝尾缘翼型,具有良好的失速特性,即在大攻角范围内,升力系数稳定并处于较高水平,在流动上体现为分离点没有像薄翼型那样迅速地前移到翼型前缘,因此,在添加涡流发生器之后,翼型升力随着攻角的增大持续上升,并没有出现失速现象,在 20° 攻角下涡流发生器也能起到很好的增升效果。

[0068] 图10给出了设置涡流发生器的FD82B风力机翼型(VGs)的阻力系数,并与不设置涡流发生器的翼型的计算结果(NO_VG)和实验值(EXP)进行对比。在小攻角工况(小于 10°),涡流发生器由于其自身的形状阻力会略微提升翼型阻力, 12° 攻角以后,涡流发生器由于能延缓流动分离使翼型阻力降低。由于流动分离点并没有前移到翼型前缘20%c以内,涡流发生器在 20° 攻角下仍然有减阻效果。

[0069] 以上结果可以看到大攻角工况,翼型表面逐渐出现流动分离,此时涡流发生器能起到增升减阻的效果,由叶素动量理论可知,翼型气动特性可以反映叶片气动特性,即在大来流风速工况,涡流发生器有良好的抑制流动分离的效果。

[0070] 数值模拟结果验证了发明的涡流发生器在失速型风力机和变桨型风力机均有较好的流动控制效果。

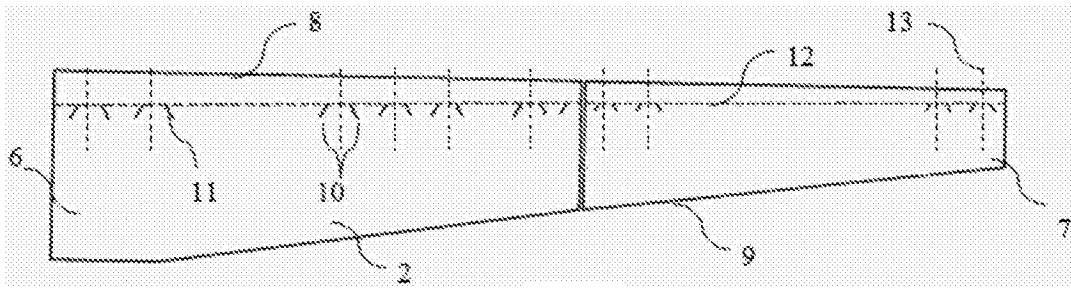


图1

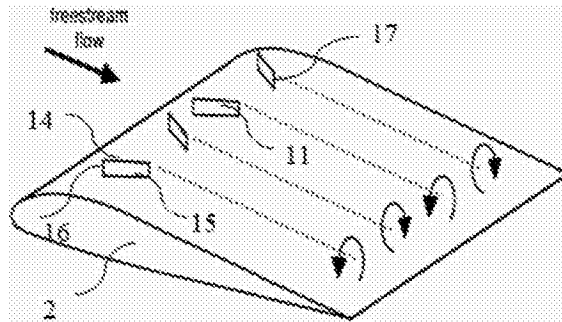


图2

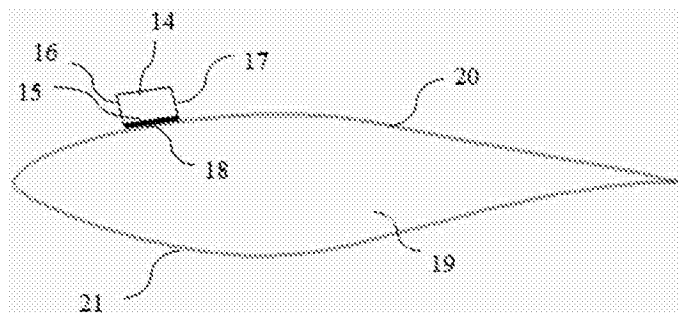


图3

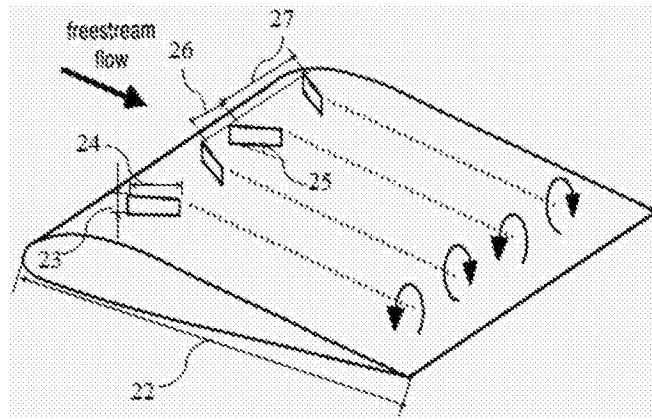


图4

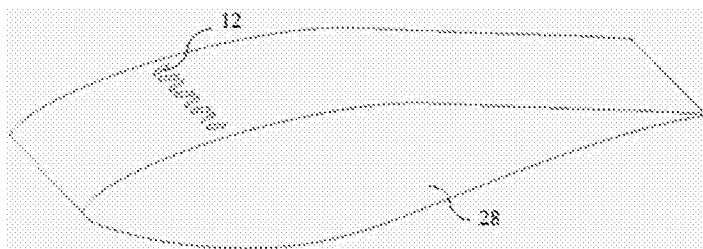


图5

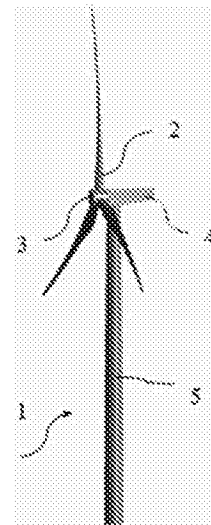


图6

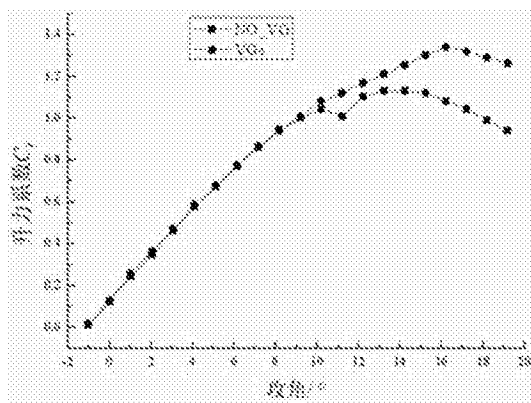


图7

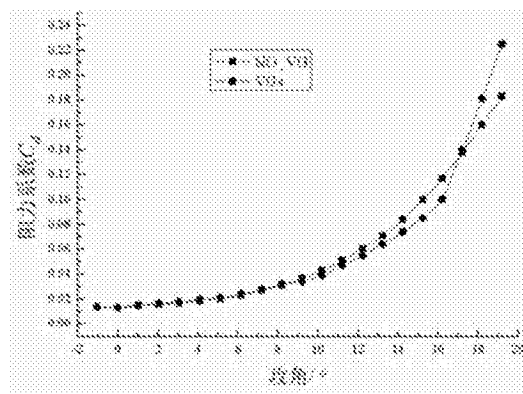


图8

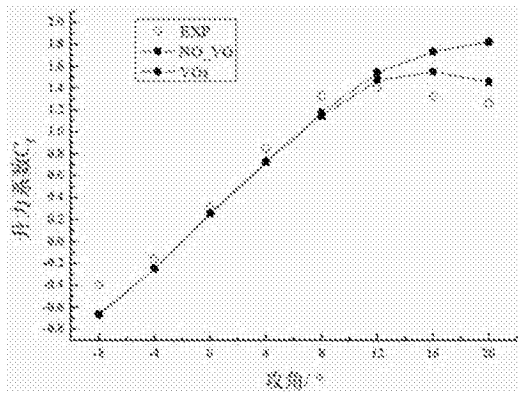


图9

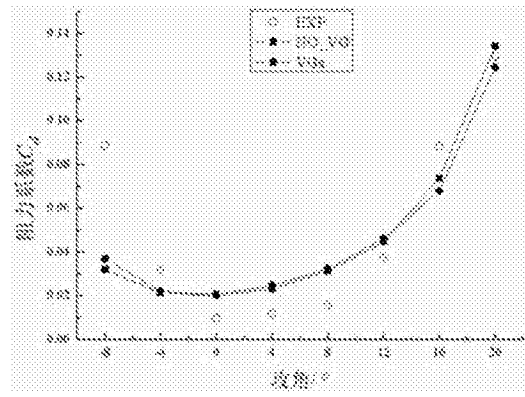


图10