



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102434384 A

(43) 申请公布日 2012. 05. 02

(21) 申请号 201110394192. 5

(22) 申请日 2011. 11. 22

(66) 本国优先权数据

201120446769. 8 2011. 11. 11 CN

(71) 申请人 张向增

地址 528300 广东省佛山市顺德区大良镇延年路都市玫瑰苑 3 座 704

(72) 发明人 张向增

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006. 01)

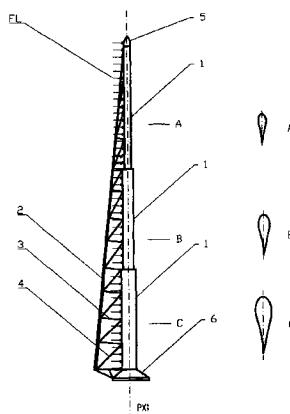
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种水平轴风力发电机组新型复合材料叶片

(57) 摘要

本发明涉及一种水平轴风力发电机组新型复合材料叶片。叶片的气动功能部分和承载结构部分相互分离设计，承载结构突破了气动翼型轮廓的几何限制而延伸到气动型面外部。外部承载结构和气动结构部分共同作用，构造出叶片的主承载结构。气动翼型可以是由拉挤工艺成型的恒定横截面的中空型材的组合。这种设计理念可轻易实现大型叶片，还可以制造分段式大型叶片，能够保障功率、提升叶片的抗弯刚度、大幅度提升材料效率和降低叶片成本。



1. 一种水平轴风力发电机组新型复合材料叶片,具有独立的气动翼型和承载结构,其特征在于:叶片有一个位于气动翼型(1)外部的、提升叶片纵向抗弯刚度的外置纵向梁(2)。
2. 根据权利要求1所述的复合材料叶片,其特征在于:外置纵向梁(2)位于气动翼型(1)的气动压力面(PS)侧。
3. 根据权利要求1所述的复合材料叶片,其特征在于:沿叶片纵向长度上,气动翼型(1)至少含有一段恒定横截面的叶片片段,由多段叶片片段组成的叶片,每段叶片片段都具有特定弦长的恒定的横截面,对于每段恒定横截面的叶片片段,从叶片的叶根向叶尖方向,每个微分横截面绕变桨中心轴连续扭转一定角度。
4. 根据权利要求1所述的复合材料叶片,其特征在于:叶片气动翼型(1)由按照叶素理论计算获得的不同半径位置有不同弦长和厚度的几何形状,从叶根到叶尖叶片气动翼型(1)的弦长和厚度连续递减变化。
5. 根据权利要求1所述的复合材料叶片,其特征在于:外置纵向梁(2)是具有对称气动型面结构的、从叶根到叶尖横截面积逐步减小的薄板。
6. 根据权利要求1或5所述的复合材料叶片,其特征在于:抵御弯曲变形的外置纵向梁(2)为碳纤维增强树脂复合材料。
7. 根据权利要求1所述的复合材料叶片,其特征在于:叶片的变桨轴线和气动翼型(1)形成的气动中心轴线基本重合,在气动翼型(1)为预弯型叶片时二者主要是在叶根段重合。
8. 根据权利要求1所述的复合材料叶片,其特征在于:在气动翼型(1)的分段连接处自然断开,采用法兰螺栓结构连接组合。

一种水平轴风力发电机组新型复合材料叶片

所属技术领域：

[0001] 本发明涉及一种水平轴风力发电机组新型复合材料叶片。叶片的气动功能部分和承载结构部分相互分离设计，承载结构突破了气动翼型轮廓的几何限制而延伸到气动型面外部。外部承载结构和气动结构部分共同作用，构造出叶片的主承载结构。这种设计理念形成的叶片，在保障气动功率的前提下，极大地提升了叶片的抗弯刚度并大幅度降低叶片的成本，材料利用效率大幅度提升。

[0002] 本发明属于水平轴风力发电机组复合材料叶片制造领域。

背景技术：

[0003] 现代水平轴风力发电机组复合材料叶片，无论是采用预弯结构还是碳纤维材料增强结构，都极限地优化了叶片而无法再度突破。其根本原因就是受制于叶片气动翼型轮廓的几何限制，使得材料的结构性能发挥不出来。具体说叶片在挥舞方向承受最大的气动升力而产生巨大弯矩，但叶片在这个方向的厚度受到翼型几何的限制，从而使得叶片在这个方向的抗弯刚度受到限制，即使采用高模量的碳纤维材料增强，对于大型的叶片来说依然显得刚度不足。叶片预弯技术只是改变叶片挠曲变形的初始位置，并不能增加叶片自身的抗弯刚度。

[0004] 我们知道，“工”字梁具有最优异的抗弯特性和材料效率。从矩形截面悬臂梁的抗弯变形特性分析我们知道，梁的抗弯刚度和梁的高度三次方成比例、和材料模量的一次方成比例。所以，增加叶片结构的厚度比选用高模量材料更加有效。因此，提升叶片抗弯刚度的方法就在于如何保障气动功能的前提下加大叶片的承力结构的厚度。答案就是突破叶片气动翼型厚度的限制，让承载结构相对于气动翼型外置。

[0005] 风力发电机组使用的叶片，在叶片的叶尖处有最大来流速度，可以达到 65m/s 的水平，相当于 1/5 音速。这在空气动力学中属于低速气动范围，这就使得叶片承载结构相对于气动翼型外置成为可能。

发明内容：

[0006] 本发明的目的是实现一种轻质的、廉价的、可靠的水平轴风力发电机组大型叶片的设计制造技术。

[0007] 所谓大直径叶轮和大型叶片，可以理解为直径在 80m 以上、叶片长度 40m 以上的叶轮。

[0008] 本发明的思路就是突破叶片气动翼型厚度的限制，让承载结构外置。

[0009] 类似一般梁的弯曲变形原理，叶片纵向弯曲变形时，位于弯曲形心轴一侧的材料承受压缩应力，而另一侧的材料承受拉伸应力。对于不同材料和结构形状，承受压缩和拉伸的能力不同。本专利设计为气动翼型侧承受压缩应力，而外置的纵向梁承受拉伸应力，在提升抗弯刚度的同时，充分利用翼型几何尺寸来提升叶片的弯曲稳定性。对于气动翼型部分，自然可以采用拉挤工艺制造定截面的型材来组合气动翼型。理论上从叶根到叶尖需要叶片

翼型的弦长不同,本发明的方案是采用分段组合近似处理方法,即由拉挤工艺成型的、不同弦长和厚度的恒定横截面叶片片段组合而成整个叶片的气动翼型。对于外置的纵向梁部分,纵向梁承受拉伸应力,单向纤维增强树脂复合材料是最理想的选择,由于不存在屈曲稳定性问题,截面尺寸可以很小,为减小风阻和风扰动,提升叶片总体气动效率,纵向梁的几何形状也需要有气动特性,采用轴对称型面的扁平形状为宜。而且,纵向梁采用碳纤维复合材料更为合适。

[0010] 当然,位于外置纵向梁和气动翼型之间的连结结构也要有气动特性,减小风阻和风扰动。可以是三明治泡沫夹心结构。

[0011] 每支叶片必须能够实现独立变桨控制,这是现代水平轴风机必须具备的能力。本发明所述的叶片的变桨轴,和气动翼型形成的气动中心轴线基本重合,这样,叶片回转变桨时,能够完全实现叶片不同位置的气动攻角调节。

[0012] 下面结合附图阐述本发明的具体实施例。

附图说明 :

[0013] 图 1 是一个叶片的总体结构示意图;

[0014] 图 2 是一个叶片中部截面剖视图;

[0015] 图 1 中,1- 气动翼型、2- 外置纵向梁、3- 立撑板、4- 斜拉筋、5- 叶尖、6- 叶根连接段、FL- 分布升力、PX1- 变桨轴线;

[0016] 图 2 中,1- 气动翼型、2- 外置纵向梁、3- 立撑板、7- 前缘、8- 后缘、9- 腹板、X1- 翼型弦线、X2- 外置纵向梁弦线、X3- 抗弯截面形心轴线、PS- 气动压力面、SS- 气动吸力面、Lc- 净空距离、T- 翼型厚度。

[0017] 在图 1 中,叶片主体承载结构由气动翼型 1 部分和外置纵向梁 2 两部分构成。二者之间靠连结结构结合在一起,成为一个能够有效抵抗叶片弯曲变形的承载结构。连结结构可以是由立撑板 3 和斜拉筋 4 构成的网格结构。

[0018] 从图 1 可以看出,外置纵向梁 2 突破了气动翼型 1 的几何轮廓的限制,放置在气动翼型 1 的外面。气动分布升力 FL 沿叶片纵向分布在气动翼型 1 的外表面。

[0019] 当然,叶片结构尚且必须有叶尖 5 和叶根连接段 6 附属部分。叶根连接段 6 完成连接轮毂功能,并能够承载叶根巨大的弯矩载荷。

[0020] 叶片的变桨轴线和气动翼型形成的气动中心轴线基本重合,在气动翼型 1 为预弯型叶片时二者主要是在叶根段重合。

[0021] 沿一支叶片纵向长度上,气动翼型 1 至少含有一段恒定横截面的叶片片段,由多段叶片片段组成的叶片,每段叶片片段都具有特定弦长的恒定的横截面,对于每段恒定横截面的叶片片段,从叶片的叶根向叶尖方向,每个微分横截面绕变桨中心轴连续扭转一定角度,这个角度的大小视气动攻角设计确定。图 1 示意出由三段定截面气动翼型组成的叶片形式。在图 1 的右侧示意出在 ABC 三处不同位置采用了不同弦长的恒定的横截面气动翼型,其规律是从叶根到叶尖弦长减小、叶片厚度也减小。这是考虑叶片结构稳定性的需要。

[0022] 当然,叶片的气动翼型 1 这部分完全可以是弦长和厚度连续变化的形式,即按照叶素理论计算获得的不同半径位置处不同叶片弦长的叶片几何外型,仍然符合从叶根到叶尖弦长减小的规律。气动翼型 1 要符合特定的气动扭角。

[0023] 气动翼型 1 采用恒定横截面分段组合技术方案可以使用由拉挤成型工艺制造的叶片型材来组合, 实现自动化连续生产, 而弦长和厚度连续变化的叶片则需要用分瓣的模具间歇式制造。前者具有更高的可靠性和更低的制造成本, 技术经济性优势明显。

[0024] 关于立撑板 3 和斜拉筋 4 也有较多的技术讲究。立撑板 3 也应该有合适的气动外形, 最大限度减小空气阻力和减少对气流的扰动。立撑板 3 可以采用泡沫夹心的三明治结构。从叶根到叶尖, 立撑板 3 的高度减小, 厚度减小。而斜拉筋 4 则完全是单向纤维增强树脂复合材料。因为叶片气动翼型上产生的分布升力 FL 载荷是分布在叶片的整个长度上, 所以不同位置的斜拉筋 4 可以根据分布载荷的大小来分配合适的横截面积。

[0025] 因为叶尖的气流速度最高, 为降低阻力和噪声, 外置纵向梁 2 不一定在叶尖位置开始生成, 例如, 可以在距离叶尖 $1/5$ 叶片长度的位置开始、直到叶根部位结束。

[0026] 外置纵向梁 2 和斜拉筋 4 可以一体成型制造。有一种实施方案就是, 每个斜拉筋 4 的连续纤维从气动翼型的表面起始、跨越立撑板 3 后一直延伸到叶片的根部。这样, 所有斜拉筋 4 延伸纤维束结合成外置纵向梁 2。其结果就是, 外置纵向梁 2 从叶尖到叶根是逐步截面增加的。假设叶片长度 45m, 每 3m 一个立撑板 3 和斜拉筋 4, 每个纤维复合材料斜拉筋 4 的横截面积为 5 平方厘米, 可承受 50 吨以上的拉力, 那么, 外置纵向梁 2 从叶尖到叶根每递进 3m 的位置其截面积增加 5 平方厘米, 依次是 5 平方厘米、10 平方厘米、15 平方厘米、……、75 平方厘米。外置纵向梁 2 叶尖位置截面相当于 $50\text{mm} \times 10\text{mm}$, 叶根位置截面相当于 $300\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。

[0027] 图 2 示意出叶片中部某位置的一个截面的剖视图, 利用该图来分析该截面的抗弯曲特性, 图中给出抗弯截面形心轴线 X3, 在 X3 轴左侧, 外置纵向梁 2 承受拉伸应力, 在 X3 轴右侧, 气动翼型 1 承受压缩应力。由于气动翼型 1 是中空的结构, 外包络线有较大的几何面积, 因此, 抵御纵向压缩稳定性能力较强; 而外置纵向梁 2 承载拉伸应力, 所以, 截面积可以较小, 可以是实心的结构, 比如上述范例的变截面实心结构。考虑到材料的结构效率, 气动翼型 1 外侧的气动吸力面 SS 的壁厚远大于内侧的气动压力面 PS 的壁厚。考虑到叶片摆振方向的弯曲刚度要求, 在该摆振方向, 承力结构无法突破气动翼型的限制, 该发明的理念不适用在摆振方向, 所以, 在气动翼型 1 的前缘 7 和后缘 8 都分配有足量的纵向纤维增强。为了提升屈曲稳定性, 叶片气动翼型 1 内部有腹板 9 连结气动翼型 1 的气动吸力面 SS 和气动压力面 PS。数字举例来形容和理解这个概念, 例如叶片某一处截面, 弦长为 1.6m 的气动翼型 1, 外侧气动吸力面 SS 壁厚 3mm, 内侧气动压力面 PS 壁厚 1.5mm, 前缘 7 内侧补强增加截面积 10 平方厘米, 后缘 8 内侧补强增加截面积 20 平方厘米, 腹板 9 厚度 2mm。当然, 在叶片的气动吸力面 SS、气动压力面 PS 和腹板 9 上, 肯定需要合理布局和设计有纵向加强筋, 加强筋可以是泡沫夹心结构。

[0028] 对于本发明涉及的叶片, 如果想采用碳纤维材料来提升整个叶片的抗弯刚度, 那么, 也仅仅是外置纵向梁 2 使用碳纤维增强树脂复合材料。碳纤维虽然模量比玻璃纤维高出 4 倍以上, 但是断裂伸长率很低, 叶片变形的柔度有限, 如果想采用高强 S 型玻璃纤维来提升整个叶片的柔度, 那么, 也仅仅是外置纵向梁 2 使用高强 S 型玻璃纤维增强树脂复合材料。

[0029] 图 2 中, 围绕弦线 X1 的气动翼型 1 必然满足气动特性要求。而围绕弦线 X2 的外置纵向梁 2 也要具备气动型面, 最大限度减小空气阻力和减少对气流的扰动。外置纵向梁

(2) 可以是具有对称气动型面结构的、从叶根到叶尖横截面积减小的薄板。而且，外置纵向梁 2 和气动翼型 1 之间的净空距离 L_c 最好要大于气动翼型 1 的翼型厚度 T ，这样才能有效减少对气流的扰动。外置纵向梁 2 和气动翼型 1 之间的净空距离越小，叶片抗弯刚度越小，气动效率越差。

[0030] 叶片的升力特性变差甚至失速，通常是由于气动吸力面 SS 侧的气流出现分离的原因。由于外置纵向梁 2 位于气动翼型 1 的气动压力面 PS 侧而不是气动吸力面 SS 侧，而且保持了净空距离 L_c ，外置纵向梁 2 的存在虽然会引起局部气流扰动，但对叶片气动升力的影响有限。

[0031] 通过实施例分析知道，传统叶片在承受气动力产生弯曲时，总是气动吸力面 SS 侧承受压缩应力而气动压力面 PS 侧承受拉伸应力，弯曲截面的高度为翼型厚度 T 。而本发明所述叶片，大体上是气动翼型 1 的整个截面承受压缩应力而外置纵向梁 2 承受拉伸应力，弯曲截面的高度为 L_c+T 。粗略测算，如果 $L_c+T = 2T$ ，那么抗弯刚度会提升 2^3 倍。换句话说，如果保持抗弯刚度不变，那么抗弯截面可以减小到原来的 $1/8$ ；如果保持材料用量不变使抗弯刚度提升 2^3 倍，意味着叶片可以至少延长一倍，轻易做到大型叶片的制造。可见，材料和成本的节约就体现在这里。

[0032] 本发明涉及的叶片，显然，在气动翼型 1 的分段连接处完全可以自然断开，采用法兰螺栓结构连接组合。这样，整个叶片可以分段成型和远距离运输，在风机安装现场再组装连接在一起，减小叶片运输的长度、难度和成本。

[0033] 本发明采用让叶片承载结构相对于气动翼型外置的技术构思，虽然在气动效率方面有所损失，但是可以轻易地延长叶片，实现大直径的叶轮和显著增加扫风面积，保证了捕风功率，实现了一种低成本、高可靠、轻巧型大尺寸水平轴风力发电机组叶片。

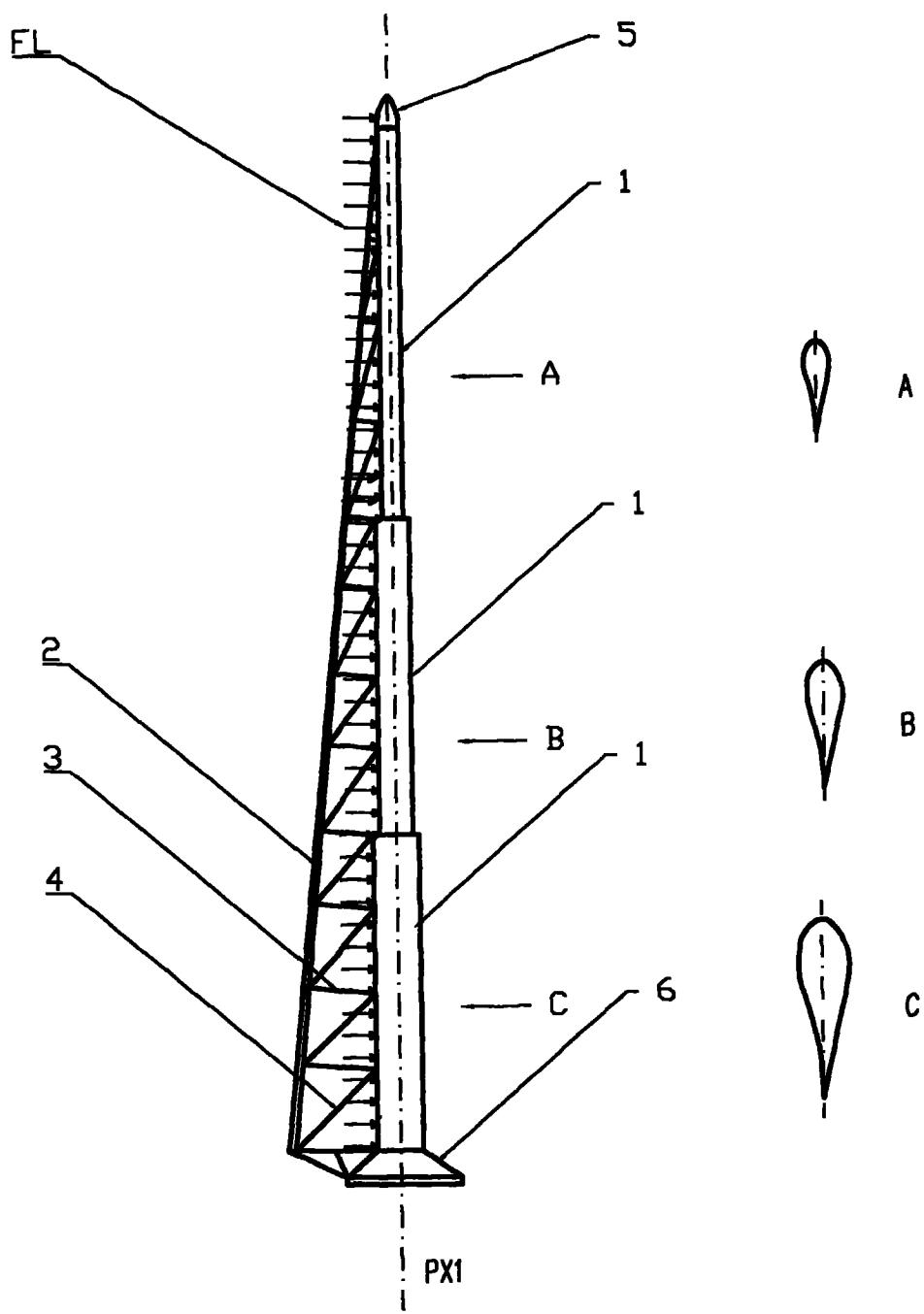


图 1

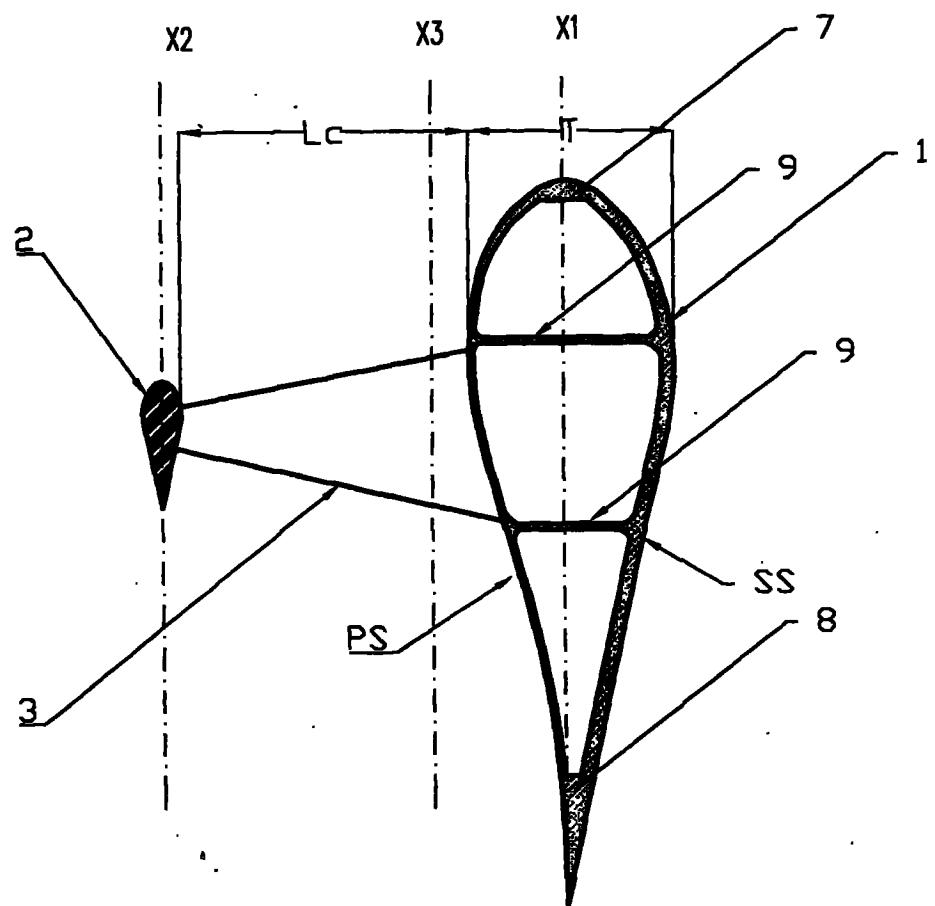


图 2