

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F03D 1/06 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480011486.3

[45] 授权公告日 2008 年 2 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 100366893C

[22] 申请日 2004.3.29

[21] 申请号 200480011486.3

[30] 优先权

[32] 2003.4.28 [33] DE [31] 10319246.8

[86] 国际申请 PCT/EP2004/003294 2004.3.29

[87] 国际公布 WO2004/097215 德 2004.11.11

[85] 进入国家阶段日期 2005.10.28

[73] 专利权人 艾劳埃斯·乌本

地址 德国奥里希

[72] 发明人 艾劳埃斯·乌本

[56] 参考文献

WO02051730A2 2002.7.4

US5474425A 1995.12.12

EP1152148148A1 2001.11.7

US5417548A 1995.5.23

US6068446A 2000.5.30

US4976587A 1990.12.11

审查员 吴 斐

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 朱登河 王学强

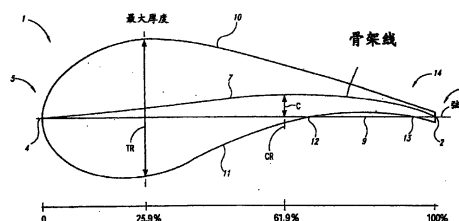
权利要求书 5 页 说明书 16 页 附图 22 页

[54] 发明名称

一种风力发电设备的转子叶片

[57] 摘要

本发明涉及一种用于风力发电设备的转子叶片以及风力发电设备。本发明的目的是公开一种带有一转子叶片型面的转子叶片以及一种相应的风力发电设备，其改进了效率。为了达成该目的，可有几种方案：一种风力发电设备的转子叶片，其中该转子叶片的最大厚度的位置大约介于 15% 和 40% 之间，优选介于 23% 和 28% 之间，最大型面厚度大约介于 20% 和 45% 之间，优选介于 32% 和 36% 之间；该转子叶片在根部区域具有两个部分，转子叶片的一部分配置在轮毂的外侧，转子叶片的型面深度和该转子的直径之比介于 0.04 和 1 之间，并且该转子叶片的型面深度和该导流帽的直径之比介于 0.5 和 1 之间。



1. 一种风力发电系统的转子叶片，

其中该转子叶片具有压力侧和吸力侧，并且

其中该转子叶片的最大厚度的位置介于转子叶片长度的 15% 和 40% 之间，最大型面厚度介于转子叶片弦长的 20% 和 45% 之间，

其中上述横截面至少位于毗连所述转子叶片安装部的转子叶片的下三分之一区域，该转子叶片在该叶片部分由第一部分和第二部分组成，该第一部分大于该第二部分，而该第二部分在其根部区域包括转子叶片的后缘区域，并且第二部分包含用于改变转子叶片表面大小的装置；

其中所述压力侧包括具有凹入的拱形的部分，并且在所述吸力侧上形成了接近直线的一部分，

其中该转子叶片的压力侧与弦线相交两次，使得所述压力侧在后部区域中凹入而在前部区域凸出，并且

其中该转子叶片的最大宽度位于所述转子叶片安装部区域中。

2. 如权利要求 1 所述的转子叶片，其中所述转子叶片的最大厚度的位置介于转子叶片长度的 23% 和 28% 之间。

3. 如权利要求 1 所述的转子叶片，其中所述转子叶片的最大型面厚度介于转子叶片弦长的 32% 和 36% 之间。

4. 如权利要求 1 所述的转子叶片，其特征在于，该转子叶片的横截面由一条骨架线描述，该骨架线在任何给定点限定了所述转子叶片的一半厚度，其中该骨架线的最大拱形介于弦长的 50% 和 70% 之间。

5. 如权利要求 4 所述的转子叶片，其中所述骨架线的最大拱形介于弦长的 59% 和 63% 之间。

6. 如权利要求 5 所述的转子叶片，其特征在于，所述最大拱形为弦

长的3%到10%之间。

7. 如权利要求6所述的转子叶片，其特征在于，所述最大拱形为弦长的4%到7%之间。

8. 如权利要求4所述的转子叶片，其特征在于，所述最大拱形为弦长的3%到10%之间。

9. 如权利要求8所述的转子叶片，其特征在于，所述最大拱形为弦长的4%到7%之间。

10. 一种风力发电系统，包括：

至少一个如权利要求1至9中任一项所述的转子叶片，该转子叶片安装在转子轮毂上，

轮毂导流帽，

其特征在于，转子叶片的一部分形成在该轮毂导流帽的外侧，并刚性连接到该轮毂导流帽上，其中转子叶片的该部分没有一体地形成成为该风力发电系统的转子叶片的一部分。

11. 如权利要求10所述的风力发电系统，其特征在于，形成在轮毂导流帽上的转子叶片的型面大体上对应于转子叶片在轮毂附近区域的型面。

12. 如权利要求11所述的风力发电系统，其特征在于，形成在轮毂导流帽上的转子叶片的该部分被固定到位，并且大体按以下方式布置：当风速低于额定风速，且该转子叶片被调整到符合额定风速的位置时，其直接位于轮毂附近的转子叶片区域的下方。

13. 一种风力发电系统，包括至少一个如权利要求 1 至 9 中任一项所述的转子叶片，

其中，所述至少一个转子叶片的最大型面深度位于转子叶片轮毂区域，并且

其中所述型面深度与转子直径之比取 0.04 和 0.1 之间的一个值。

14. 如权利要求 13 所述的风力发电系统，其中所述型面深度与转子直径之比取 0.055 和 0.7 之间的一个值。

15. 如权利要求 13 所述的风力发电系统，进一步包括

一个容纳发电机的发电室，以及

一个连接到发电机的转子，

其中，所述转子包括至少两个转子叶片，该转子包含一个具有导流帽或整流罩的轮毂，并且转子叶片的型面深度与整流罩的直径之比大于 0.4。

16. 如权利要求 15 所述的风力发电系统，其中所述转子叶片的型面深度与整流罩的直径之比介于 0.5 和 1 之间。

17. 一种风力发电系统，该发电系统具有一个转子，该转子包括至少一个如权利要求 1 至 9 中任一项所述转子叶片，

其中，该转子叶片的形状类似于最佳气动形状的梯形，该转子叶片的最大宽度位于转子叶片的根部区域，并且朝向风力发电系统机舱的转子叶片根部边缘形成为沿纵向大体上与机舱的外轮廓线一致。

18. 如权利要求 17 所述的风力发电系统，其特征在于，当所述转子

叶片转到顺桨迎风角位置时，朝向机舱的转子叶片下缘在根部区域接近平行于机舱外轮廓线。

19. 如权利要求 18 所述的风力发电系统，其特征在于，在所述顺桨迎风角位置，朝向机舱的转子叶片下缘和机舱外轮廓线之间的距离小于 50 cm。

20. 如权利要求 19 所述的风力发电系统，其特征在于，在所述顺桨迎风角位置，朝向机舱的转子叶片下缘和机舱外轮廓线之间的距离小于 20 cm。

21. 如前述权利要求 10 至 20 中任一项所述的风力发电系统，其特征在于，所述转子叶片在根部区域倾斜偏离转子叶片的主平面。

22. 如前述权利要求 10 至 20 中任一项所述的风力发电系统，其特征在于，所述转子叶片在根部区域形成为两部分，其中，分隔线朝向该转子叶片的纵向。

23. 如权利要求 22 所述的风力发电系统，其特征在于，所述转子叶片的部分在运输过程中保持分开。

24. 如权利要求 22 所述的风力发电系统，其特征在于，将所述转子叶片安装到风力发电系统内后，才装配该转子叶片的所述两部分。

25. 如权利要求 24 所述的风力发电系统，其特征在于，所述转子叶

片的两部分在运输过程中保持分开。

26. 如前述权利要求 10 至 20 中任一项所述的风力发电系统，其特征在于，该风力发电系统包含至少一个转子叶片，该转子叶片具有一个吸力侧和一个压力侧，其中吸力侧的长度与压力侧的长度之比小于 1.2。

27. 如权利要求 26 所述的风力发电系统，其中所述吸力侧的长度与所述压力侧的长度之比在 1 至 1.03 之间。

一种风力发电设备的转子叶片

技术领域

本发明涉及一种风力发电系统的转子叶片以及相应的风力发电系统。

背景技术

就有关的现有技术状态,我们参阅了1996年出版的作者为艾里奇·豪(Erich Hau)的书“风力发电系统”(Wind power systems)。这本书包含现有技术的一些风力发电系统、风力发电系统的转子叶片以及转子叶片的横截面的例子。根据NACA的气动型面(profile)的几何构造尺寸显示在该书第102页上的图5.34中。如该图所示,转子叶片由下列参数描述:对应于弦长的型面深度(profile depth);限定弦上方的骨架线的最大高度的最大拱形(或拱形比);最大拱形的位置,即在转子叶片的横截面内相对于型面深度的最大拱形的位置;限定一个圆心位于骨架线上的内接圆的最大直径的最大型面厚度;以及最大厚度的位置,即转子叶片的横截面相对于型面深度呈现最大型面厚度的位置。另外,前缘半径以及上下侧的型面坐标也用来描述转子叶片的横截面。还有,艾里奇·豪的书中的术语也用来描述根据本发明的转子叶片的横截面。

现有技术的其它转子叶片公开在DE 103 07 682、US 5,474,425、US 6,068,446以及DE 694 15 292中。

可以从几个不同的方面对转子叶片进行优化。转子叶片不仅应安静运转,还应具有一个最大动力性能,以在较低风速时启动风力发电系统的旋转并在可能的最小风力强度下达到额定速度,该额定速度即第一次达到风力发电系统的额定功率的转速。如果接下来风速增大,一般作法是增加调整在风中的由迎风角(pitch)调节的风力发电系统的转子叶片,使得在保持额定功率的同时减少转子叶片的迎风表面积,以保护整个风力发电系统及其部件不受机械损坏。在任何情况下,一个风力发电系统的转子叶片的叶片型面的气动特性是最重要的。

发明内容

本发明的目的是公开一种具有转子叶片型面的转子叶片以及一种相应的风力发电系统，其与至今为止所知的转子叶片相比可以提高效率。

根据本发明，所述目的通过提供一种风力发电系统的转子叶片来实现，其中该转子叶片具有压力侧和吸力侧，并且该转子叶片的最大厚度的位置介于转子叶片长度的15%和40%之间，最大型面厚度介于转子叶片弦长的20%和45%之间，其中上述横截面至少位于毗连所述转子叶片安装部的转子叶片的下三分之一区域，该转子叶片在该叶片部分由第一部分和第二部分组成，该第一部分大于该第二部分，而该第二部分在其根部区域包括转子叶片的后缘区域，并且第二部分包含用于改变转子叶片表面大小的装置；其中所述压力侧包括具有凹入的拱形的部分，并且在所述吸力侧上形成了接近直线的一部分，其中该转子叶片的压力侧与弦线相交两次，使得所述压力侧在后部区域中凹入而在前部区域凸出，并且该转子叶片的最大宽度位于所述转子叶片安装部区域中。本发明还提供一种具有上述转子叶片的风力发电系统。

附图说明

下面参照几幅附图对本发明进行描述，各个图显示：

图1为根据本发明的一个风力发电系统的前视图；

图2为根据本发明的一个风力发电系统的后视图；

图3为根据本发明的一个风力发电系统的侧视图；

图4—8为根据本发明的转子叶片的不同方向的视图；

图9为根据本发明的一个风力发电系统的放大视图；

图10为根据本发明的一个转子叶片视图；

图11—17、19为根据本发明的风力发电系统的不同视图；以及

图18为根据本发明的一个转子叶片的横截面（靠近轮毂的区域）。

具体实施方式

具体地，本发明所述的转子叶片 1 的型面位于转子叶片 1 中邻近转子叶片 1 安装部（连接轮毂的部位）的区域。优选地，本申请所描述的型面位于转子叶片 1 相对于自身整个长度的前三分之一处。取决于风力发电系统的额定功率，这些转子叶片的总长度介于 10 m 到 70 m 之间。例如，一个 Enercon-112 型的风力发电系统（直径大约 112 m）的额定功率为 4.5 MW，而一个 Enercon-30 型的风力发电系统的额定功率为 300 kW。

根据本发明的转子叶片的型面的一个独特的特征是其最大型面厚度 TR 大约为该转子叶片弦长的 20—45%，优选为 32—36%。在图 18 中，该最大型面厚度 TR 为转子叶片弦长的 34.6%。图 18 所示的弦 9 从转子叶片的后缘 3 的中心 2 延伸到转子叶片前缘 5 的端点 4。最大厚度 TR 的位置，即相对于叶片长度的最大型面厚度的位置，大约位于弦长相对于转子叶片前缘 5 的 15—40% 处，优选为 23—28%。在所示的实施例中，最大厚度 TR 的位置为弦长相对于转子叶片前缘 5 的 25.9%。该最大厚度 TR 垂直于所述弦 9 确定，并且该最大位置（25.9%）是相对于转子叶片前缘 5 而言的。

图 18 还显示了一条所谓的骨架线 7。该骨架线 7 在任意位置都确定了转子叶片 1 的一半厚度。因此，这条骨架线 7 不是直的，而是正好位于转子叶片 1 的压力侧 11 和转子叶片 1 的吸力侧 10 上的相对点之间。该骨架线 7 在转子叶片后缘 3 和转子叶片前缘 5 与弦 9 相交。

在根据本发明的转子叶片的横截面中的最大拱形的位置大约位于弦长相对于转子叶片前缘 5 的 50—70% 处，优选为 59—63%。在图 18 所示的实施例中的最大拱形 C 的位置大约位于弦长相对于转子叶片前缘 5 的 61.9% 处。最大拱形 C 在这种情况下大约为弦长的 3—10%，优选为弦长的 5—7%。在图 18 所示的实施例中，最大拱形大约为弦长的 5.87%。

根据本发明的转子叶片的型面的另一个明显的独特特性是，该转子叶片 1 的压力侧 11 与所述弦 9 在点 12 和 13 处“相交”两次。因此，该型面压力侧 11 在这个区域中是形成为凹入的，而压力侧 11 在型面的前部是形成为凸出的。在压力侧 11 的凹入区，吸力侧由在该吸力侧 10 上的相应的

相对区域内的一条基本上直的线限制。

众所周知，也可以将压力侧 11 形成为凹入的拱形，或将吸力侧 10 形成为一条直边。但是，这两种方法的组合，特别地，对根据本发明的转子叶片 1 型面来说是最重要的，并且是本发明的转子叶片型面的特征。

所示型面的转子叶片后缘 3 也是特别厚。但是，这不会造成在转子叶片的后缘 3 产生噪音，因为所示型面设置在由转子叶片梢部限定的圆的内三分之一以内，而且该处的轨迹速度也不是很高。

转子叶片 1 的气动外形可以通过这样设计转子叶片根部区域 15（例如图 1、3、9、11、15）来改进：转子叶片 1 在该区域具有最大厚度，因此，该转子叶片 1 大约为多多少少与最佳气动外形类似的梯形（平面视图）。在根部区域 15，该转子叶片 1 优选这样实现：将朝向风力发电系统机舱 18 的转子叶片根端 15 的边缘 16 改装成在至少一个角位置处与该机舱 18 的外部轮廓一致，例如，当转子叶片 1 位于其与设计风速对应的位置时，在朝向风力发电系统的转子叶片根端 15 的边缘 16 和该机舱 18 的外部轮廓之间有一个宽度大约为 5 mm 到 10 mm 的空隙。

一种具有前述特征的转子叶片 1 表明在某些情况下可以显著增加功率，即高达 10% 的功率。由于这个意料之外的功率增加，根据本发明的风力发电系统在低于额定风速的任一给定风速下的输出功率增加。另外，该风力发电系统与以前的相比可较快达到它的额定功率。这意味着该转子叶片也可以更早地转动（调整迎风角）以减小发出声音以及作用在该系统上的机械应力。

本发明基于以下思想，如今使用的传统转子叶片形状是在风洞中以不同的风速但在均匀的气流下测试的。但是，自然风很少均匀地吹且遵循随机分布规律，阵风可能引起气流在传统的转子叶片上分离，特别是在叶片没有通过气动处理和以最佳的方式形成的、靠近转子轮毂 17 的内叶片区域。气流在外转子叶片区域（转子叶片梢部）的方向的一定距离上继续分离。这可能导致在一个气泡状的区域中的气流分离并造成能量损失。由于对转子叶片 1 进行了清洁设计（clean design），本发明还可以在上述类型的

内转子叶片区域显著增加能量。

如果使用一个传统上标准的型面，而不使用本申请所提出的以经验确定的型面，转子叶片 1 的气动清洁设计可能需要在转子叶片下部区域（靠近轮毂 17 的区域）的型面深度大约加倍（其对应于转子叶片 1 的弦长）。但是，需要前部区域的显著型面厚度来传递一个安全载荷和获得一个大于 2 的升力系数 C_A 。

现有技术的转子叶片通常制造为可在所述内区域中实现最大量地节省材料。这种现有技术的转子叶片的典型例子显示在上述 1996 年出版的作者为艾里奇·豪的书“风力发电系统”的第 114 和 115 页上。根据这些例子，最大型面深度总是位于距转子叶片安装部一定距离处，即在转子叶片安装区域附近，其中根据现有技术在该区域中可节省材料。但是，当使用一个在平面视图中类似梯形的优化形状时，转子叶片的最大宽度并没有位于距转子叶片安装部一定距离处，而正好位于转子叶片安装部本身的区域内。因此，这里不能在该转子叶片的内区域最大量地节省材料。

节省材料的原因可以在（上述）计算/开发转子叶片时对气流条件的静态考虑中看到。另外，流行的计算转子叶片的程序将转子叶片分成若干单独的段并且单独计算每一转子叶片段以得出对整个转子叶片的评价。

但是，真实条件很不同。第一，风不会在一定表面面积内均匀而定常地吹，而是呈现为一种明显的随机行为。第二，风速是一个关键因素，因为转子叶片 1 的外周速度在内区域（即转子轮毂 17 附近区域）内很低，使攻角的改变高度依赖于此区域中的瞬时风速。因此，边界层分离也以一个相应的频率发生在转子叶片 1 的内区域。

滞后作用在这样的情况下是有效的。一旦风速降到以前的风速，例如在一阵风过后，转子叶片 1 上的边界层不会立即恢复，而是风速必须先进一步减小（即需要进一步调整攻角）直到转子叶片上的边界层恢复为止。但是，如果风速没有进一步减小，很可能是无论来流风速如何都有一定的力在一较长期间内施加在转子叶片 1 上，原因是该转子叶片 1 表面上的边界层还没恢复。

根据本发明设计的转子叶片显著降低了边界层分离的风险。所述较厚型面也有助于降低分离的风险。效率显著增大的另一个原因是，一旦边界层分离后，所述滞后效应引起的输出功率减小将持续一段较长时间（在使用现有技术的转子叶片时）。

所述效率增加的部分原因也在于，风利用了最小阻力的路径。转子叶片1的靠近轮毂17的内区域（显著节约材料）很薄的设计相当于在转子圆圈的由所述转子叶片1掠过的获取区中的一个的“漏孔（slip hole）”，从而气流倾向于流过这个漏孔。这是流行的计算程序的另一个弱点的标志——这些程序的计算总是基于在由转子叶片掠过的圆形区域上的均匀分布。

如果通过在靠近轮毂17区域使用一个梯形的转子叶片1的设计而将该“漏孔”封闭，那么在整个圆形区域上的气流分布得到改善并且转子叶片外区域的效应得到一些加强。结果是，这个“漏孔”的封闭提高了根据本发明的转子叶片1的功率系数。

这也指出了流行计算程序的另一个弱点，因为这些程序还将与“漏孔”直接毗连的转子叶片段考虑成一个完全发挥作用的转子叶片段。但是，由于所述特殊的流动条件（频繁的边界层分离发生后紧跟着是所需的流动条件的恢复），事实并非如此。

图11-17分别示出了一个根据本发明的风力发电系统的前视图和侧视图。在这些图中，所述三个转子叶片在靠近轮毂17的区域基本上无缝地过渡到机舱18的外轮廓线。但是，这仅仅适用于与额定的风位置相应的转子叶片的位置。

一旦风力的增大超出额定风力值，传统方法是通过变迎风角（迎风角调整）来随风慢慢地调整转子叶片。其中，图15显示这很容易导致在转子叶片1在其内区域下缘16和机舱18之间形成一个较大宽度的间隙。但是，图15也显示机舱18的外侧包含一个横截面在很大程度上对应于转子叶片1靠近轮毂17区域的型面的结构30。当转子叶片1调整到一个相应的攻角时，该结构30直接位于以额定速度运转的转子叶片1的下面，使得该结构30和转子叶片1靠近轮毂17的区域之间仅形成一个窄的间隙。

因此,机舱 18 的外轮廓线还包含一个没有与转子叶片 1 形成为一体的转子叶片 1 的段,即结构 30。

在图 18 所示的转子叶片 1 型面中,梢部半径大约为型面深度的 0.146。

根据图 18,吸力侧 10 包含一较长的基本为直的区域 14。例如,该区域如下所述:在介于型面深度的 38%和 100%之间的区域,所述半径等于型面深度的长度的 1.19 倍。在介于型面深度(见图 18)的 40%和 85%之间的该区域,所述半径等于型面深度的 2.44 倍。在介于型面深度的 42%和 45%之间的该区域,所述半径等于型面深度的 5.56 倍。

在介于型面深度的 36%和 100%之间的该区域,与一条理想直线的偏差的最大值大约为型面深度的 0.012。这个值是确定的,因为曲率半径不是恒定的并且各个区域的最大曲率半径已经定义过了。

在所举例子中,吸力侧 10 的长度大约为型面深度的 1.124 倍,压力侧 11 的长度大约为型面深度的 1.112 倍。这意味着吸力侧 10 仅仅稍微长于压力侧 11。因此,如果吸力侧 10 的长度与压力侧 11 的长度比小于 1.2,优选小于 1.1 或介于 1 和 1.03 之间是非常有利的。

这些图显示,转子叶片 1 的型面深度在整流罩——即风力发电系统的机舱 18 外侧——处最大。在一个转子的直径为 30 米的风力发电系统中,在整流罩处的型面深度可以是,例如大约 1.8 到 1.9 米,优选为 1.84 米。如果整流罩的直径 D 大约为 3.2 米,转子叶片 1 在整流罩处的型面深度与整流罩直径 D 之比大约为 0.575。因此,如果型面深度与整流罩直径 D 之比大于 0.4 或介于 0.5 和 1 之间是非常有利的。在这点上,可选取上述区间中的任何值。在上述例子中,型面深度与转子直径之比大约为 0.061。很明显,如果型面深度与转子直径之比大于在 0.04 至 0.1 之间、优选在 0.055 至 0.7 之间的一个值——此种情况下例子所取的值对于转子叶片 1 的效率是非常有利的,所导致的“漏孔”最小。

在另一个例子中,转子叶片 1 的前三分之一的型面横截面显示于图 18 中,该图中整流罩处的型面深度大约等于 4.35 米,整流罩的直径 D 大约为 5.4 米而且转子的总直径为 71 米。在这种情况下,型面深度与整流罩直径

D 之比为 0.806 且型面深度与转子直径之比还是 0.061。上述值是对一个具有迎风角调整的三叶片转子而言的。

如上所述,转子的最宽处(该转子的最大型面深度处)可以直接形成在叶片安装部区域内。术语叶片安装部是指转子叶片 1 连接(结合、螺接等)到风力发电系统的轮毂 17 的区域。另外,转子叶片 1 的下侧 16,即朝向风力发电系统的机舱 18 的那一侧,形成为或很大程度上与机舱 18 的纵向外轮廓相一致。因此,一个处于顺桨迎风角位置(feathered pitch position)(实际上没有表面还与风向对准)的转子叶片平行于朝向机舱 18 的下缘 16,并且该下缘 16 和机舱 18 的外轮廓线之间的距离是最小的,优选小于 50 cm,实际上小于 20 cm。

如果此时该转子叶片 1 调整到风场中,其最大表面也位于转子叶片 1 的最内区域(漏孔很小)。前面引用的艾里奇·豪的书显示,现有技术的转子叶片在靠近轮毂的区域继续减小(转子叶片在该处比在它们的最宽点窄)。相反,根据本发明的转子叶片的最宽点具体地位于靠近轮毂的区域内,使得风的势能可在该位置完全被利用。

众所公知,特别是很大的转子叶片在靠近轮毂的区域的转子叶片很宽。该转子叶片 1 还可以由两部分组成以便于运输这样的转子叶片(大转子叶片,例如,长度超过 30 m 的转子叶片,其靠近轮毂区域的宽度最好介于 5 m 到 8 m 之间)。所述两部分在运输过程中分离并且可以在该转子叶片到达安装位置后装配该转子叶片。该转子叶片安装在风力发电系统上时该两部分例如通过螺钉连接或不可分连接(焊接)而相互连接。特别是对于大转子叶片,这不是什么问题,因为这样的转子叶片的内部在装配过程中也是够得着的。该转子叶片的外侧具有均匀外观并且在两个完成装配的部分之间的分隔线很难看得见或完全看不见。

初步的测量结果表明,与现有的传统转子叶片相比,根据本发明设计的转子叶片可以显著提高效率。

根据图 1—17,实现本发明的一种风力发电系统的转子叶片,使得它们的最大型面深度位于靠近轮毂 17 的区域,并且该转子叶片沿着轮毂 17

附近区域内的整个型面延伸到邻近该风力发电系统的发电室的机舱 18 导流帽（整流罩）的部位。这导致至少在转子叶片 1 调整到与高达额定风速范围的风速相应的角度的位置时，转子叶片 1 和机舱 18 导流帽之间的间隙很小。例如，在图 1、2 和 3 中，转子叶片 1 还延伸到机舱 18 导流帽与后型面深度区域邻近的一个位置。在所示的另一个变体中，例如在图 11—17 中，机舱 18 导流帽本身的外侧具有一转子叶片段（结构 30），但是该段没有一体地形成整个转子叶片 1 的一部分。图 15 和 17 特别地显示了，形成在机舱 18 外部的所述转子叶片部固定在这个位置，并且其角度设置成与高达额定风速时转子叶片 1 的角位置相应。这意味着至少在风速高达额定风速时，在转子叶片 1 的下缘 16 和机舱 18 后型面深度区域之间也形成一个最小的间隙。

图 19 还很清楚地显示了根据本发明设计的转子叶片在转子中心具有用于风的很小的“漏孔”。

图 18 显示了根据本发明的转子叶片 1 沿图 17 中的 A-A 线的一个横截面，即转子叶片 1 在轮毂 17 附近区域的型面。

图 17 还包含一个显示整流罩的直径 D 的标识。

转子的直径由转子旋转过程中其扫过的圆形区域的半径描述。

根据图 15 和其它图，转子叶片 1 的部分（结构 30）没有一体地形成所述旋转转子叶片 1 的一部分，而是一体地形成机舱 18 导流帽外部的一部分。该相应部分可以用螺钉安装到所述机舱 18 或一体连接或焊接到机舱。

在根据本申请的转子叶片 1 的长度很大以及在轮毂 17 附近区域的相应转子叶片深度——即叶片弦 9——很大的情况下，该区域将叶片分成两部分或多部分以简化转子叶片 1 的运输是可行的。在这种情况下，转子叶片 1 在达到整个转子叶片 1 安装到轮毂 17 的安装位置之前不对该转子叶片进行重新装配。在这样的情况下，部分转子叶片 1 可如图 20 所示实现。根据该图，在叶片后缘区域缺一端。通过附上所缺段可以在该区域恢复图 18 所示的型面。

所述两部分可以通过螺钉、焊接或其它固定方法相互连接。

也可以提供在转子叶片 1 的所述区域改变该转子叶片 1 的表面大小的装置。相应的变体如图 21-23 所示, 必须注意, 这些图所示的转子叶片 1 的横截面应理解成是示意性的(转子叶片的型面大体上对应于图 18 所示的型面)。

图 21-23 所示的变体提供了如需要可以减小转子叶片的整个表面的优点。这在极端风力条件下以及在转子叶片的运输过程中是很实际的, 因为它允许或至少简化转子叶片的运输并防止风力发电系统在极端风力条件下的过载。

在本发明的一个特别优选的变体中, 部分表面由一可变形材料组成, 该材料形成了一个封闭容器(该容器形成后型面壳)的一部分。这个封闭容器可以装有例如受到一定压力的气体介质。这导致了该转子叶片具有一部分可膨胀的表面, 其在运输过程中或在极端风力条件下可抽出该叶片中的气体, 因此需要更少空间, 并在风压的作用下会发生屈服。这减小了转子叶片的有效表面积以及迎风面。包括塔台的下游部件上的载荷同时也减小了。

在本发明的另一个变体中, 转子叶片在所述后箱体(rear box)(在图 20 中未示)区域中包含第二个机翼结构, 该机翼结构在该区域上和/或中可以移动。所述可变形材料可以固定在该第二机翼结构的一预定位置, 而且该可变形材料的一侧可以安装在一个可旋转的卷绕单元上。

所述第二机翼结构可以风力发电系统的正常操作模式伸展, 即伸展臂完全伸展或者伸缩臂完全延伸。所述可变形材料的一侧安装在一个可旋转的卷绕单元上。如果转子叶片表面的表面积必须减小, 则转动该卷绕单元——类似于一个雨蓬——以卷起所述可变形材料。折叠臂同时折叠并减小第二机翼结构在可减小表面区域的大小, 使得转子叶片的表面积相应地减小。

在本发明的一个可选变体中, 转子叶片表面的一部分包含分别设置在一个支撑导轨上的薄片式条带, 该支撑导轨绕其纵轴可枢转。在正常操作模式中, 这些薄片式条带排成一行使得它们增加了转子叶片的气动有效表

面积。在转子叶片运输过程中或在极端载荷作用下，所述支撑导轨可以枢转，使相应的薄片移到例如剩下的转子叶片的背风面，并因此而相应减小转子叶片的表面积。

在本发明的一个特别优选的进一步改进中，所述气动有效转子叶片表面的可移动部分由一个可以在转子叶片深度的方向上移位的单独平面单元组成。在正常运行模式下，这个平面单元优选地在吸力侧增加转子叶片的表面积，以产生一个大的气动有效表面积。

为了减小表面积，这个平面单元可以类似于一个机翼的襟翼系统移动该平面单元，使之移到转子叶片内并由转子叶片剩下的表面覆盖，或移到转子叶片上并覆盖转子叶片的表面。在任何情况下，这导致转子叶片表面积的减小。

在本发明的一个可选变体中，这个平面单元的一侧以枢转方式连接到第一机翼结构或转子叶片后缘。转子叶片的表面积可以通过将该单元绕该单元轴朝转子叶片的吸力侧或压力侧枢转而改变。

如果该平面单元枢转了大约 90° ，其大体垂直于气流方向位于转子叶片上并产生一个相应的减速效应，因为它阻碍空气沿着转子叶片的表面流动。

以下将参照附图对本发明的几个变体进行详细描述。它们显示：

图 20 为根据本发明的一个转子叶片的俯视图；

图 21 为根据本发明的一个转子叶片的前段的俯视图；

图 22 为根据本发明的一个转子叶片的第一变体的示意横截面；

图 23 为根据本发明的一个转子叶片的第二变体的示意横截面；

图 24a, 24b 为根据本发明的一个转子叶片的第三变体的示意横截面；

图 25 为根据本发明的一个转子叶片的第四变体的示意横截面；

图 26 为根据本发明的一个转子叶片的第五变体的示意横截面；

图 27a 和 27b 为根据本发明的一个转子叶片的第六变体的简化横截面；

图 28 为根据本发明的一个转子叶片的一个有利变体的俯视图；

图 29—33 为本发明的其它有利的例子。

图 20 显示了一个根据本发明的完整的转子叶片的示意俯视图。转子叶

片 100 分成两部分。就其关键部件，转子叶片 100 按传统方式设计。但是，在临近转子叶片根部 120 的区域，即具有最大叶片深度的那个区域，可以看到一个划分出来的区域。这个划分出来的区域为转子叶片的区域 140，该区域的表面积如果需要可以减小，使之不再受到风的作用。

图 21 显示了转子叶片 100 的刚性部分，该部分的表面积保持不变。这个图清楚地显示转子叶片 100 的气动有效表面积显著地减小了，使得特别是在极端风力情形下的载荷大大低于一个传统设计的转子叶片的载荷。

图 22 显示了一个本发明的第一变体的示意横截面。在此情形下，转子叶片 100 分成一个前部区域 110 和一个后部箱体 (rear box) 140。该后部箱体 140 由两条可变形材料带 180 组成，所述条带与前部区域 110 的后壁一道形成了一个封闭的容器 160。如果这个封闭容器 160 现充满一压缩的气体介质，所述可变形材料 180 形成根据本发明的转子叶片 100 的表面区域的一部分，该部分在正常运行模式下是气动有效的 (并在图 20 中由附图标号 140 标识)。

转子叶片的这一段可以这样的稳定性形成，使得在正常风条件下它的正常效应变得很明显。但是，施加在转子叶片的这一部分的风压在极端风力条件下较高，使外压高于内压，从而在这种情况下转子叶片在后部箱体 140 区域变形并且该转子叶片最终在外部风压作用下屈服。这不仅在极端的风力下减小了迎风面，而且也减小下游结构上的载荷。

还应注意，当例如当风速超过一预定值时，可以主动将后部箱体的这一部分 (其中装有填充介质) 中的介质抽出以减小该转子叶片的表面积。这种主动抽取提供了这样的优点：转子叶片的形状永远是确定的，而如果所述后部箱体在外压作用下屈服时可能引起不确定的情形。

为了防止容器 160 受损，可以例如提供一个允许将形成在容器 160 内的过高压力释放掉的压力安全阀 (未示出)。

正常运行模式所需的压力可以利用一个压缩机 170 恢复。如果提供有控制阀和/或压力传感器 (未示)，在风压有涨落时也可以调整容器 160 内的压力以一直保持最佳运行条件。

图 23 显示了本发明的第二变体,其中转子叶片吸力侧的表面延伸而不是使用一个完整的后部箱体 140。这个延伸由一个连接前部区域 110 的平面单元 240 组成。

这个平面单元 240 可以在由箭头所示的方向上移位以减小气动有效表面积。这种移位可以由例如相应的液压缸来液压地实现、由气压缸气动地实现或由电动驱动系统等实现。当然,必须提供用于此目的的相应的泵、压缩机或驱动装置(致动器)(但为更清楚起见在图中没有显示这些装置)。

所述平面单元可以移进前部区域,使得前部区域 110 的表面覆盖平面单元 240。可选地,该平面单元也可以移到前部区域 110 的表面之上,使得该平面单元 240 覆盖前部区域 110 的相应部分。在两种情形下,转子叶片 100 的气动有效表面积都减小了。

图 24a 和 24b 显示了本发明的第三变体。图 24a 显示一可变形材料的卷轴 200,标号 300 标识了处于折叠状态的折叠臂。这个机构可以类似于一个遮阳蓬的方法实现。

图 24b 显示处于正常运行模式下的该变体。折叠臂 300 伸开并且安装于其上的可变形材料 180 在折叠臂伸开的过程中从卷轴 200 处展开。因此,卷轴 200 不再携带整个缠绕材料。

在展开状态中,可变形材料 180 的一端固定在卷轴 200 上,而另一端固定在折叠臂 300 在图中指向右边的一端上。折叠臂的两端可以连接到一个未示的连结板上,以增加所述结构的刚性和将可变形材料固定到位。

为了防止可变形材料 180 在卷轴 210 和折叠臂 300 的外端之间变得松弛,可以在可变形材料 180 的下方装一个类似于可调整格栅的装置(未示出),该格栅由折叠臂 300 同步致动并支持伸开状态下的可变形材料 180。

将所述过程反过来可以减小有效表面积;使折叠臂 300 和所述可调整格栅(未示)折叠并同时使可变形材料 300 缠绕在卷轴芯 210 上。这最终形成如图 24a 所示的卷轴 200,以及导致转子叶片 100 的有效表面积减小。

在如图 25 所示的本发明的第四变体中,平面单元 240 以枢转方式连接到前部区域 110 后部,使得它形成为前部区域 110 的吸力侧的一个延伸部。

在这种情形下，平面单元 240 由一个设置在平面单元 240 和前部区域 110 的支持结构之间的压缩弹簧 280 支持。

在正常运行模式下，压缩弹簧 280 这样支持所述平面单元 240 使之保持在适当的位置。如果一个反常风压施加在转子叶片 100 的上侧，施加在平面单元 240 表面上的压力增加，并克服弹簧 280 的力使图 25 所示的平面单元 240 向下压，并在风压作用下屈服。这导致气动有效表面积的相应减小。

除了使用一个弹簧 280，也可以提供相应的伸缩单元，例如液压或气动或机械装置，以主动调节所述平面单元。也可以例如利用螺杆或蜗杆驱动装置等来将平面单元 240 保持在第一预定位置或者将该平面单元移到第二预定位置。当然，必须提供相应的泵、压缩机或驱动装置来操作这些致动器，这些装置为清楚起见在图中未示出。

在这种情况下也可以确定施加在平面单元 240 上的风载荷，其中平面单元 240 作为所测量的风载荷的一个函数绕枢转轴枢转，以根据瞬时的运行状况最佳地调整所述平面单元。

图 26 显示了本发明的第五变体。在这个第五变体中，平面单元 240 没有以枢转方式连接到前部区域 110 的后侧，而是设置在可以一个可以绕自身纵轴旋转的铰接销上。在图 26 所示的位置，平面单元 240 形成转子叶片 100 的气动有效表面积的一个延伸。

为了减小这个表面积，其上固定有平面单元 240 的铰接销 220 绕其纵轴旋转，使平面单元 240 的外端沿由所示双箭头标识的两个方向之一运动。这也导致转子叶片 100 的气动有效表面积减小，并因此导致施加在转子叶片 100 和风力发电系统的所有下游部件上的风载荷发生改变。

图 27a 和 27b 示出了图 26 所示的实施例的一种改进。在图 26 中由标号 240 标识的平面单元在图 27a 中分成三个片层单元 260。这些片层单元在图 27 中有意设置成彼此分开以说明这种分割。当然，这三个单元实际上设置成它们可形成一个大致上封闭的表面，该封闭表面尽可能平滑地过渡到转子叶片 100 的前部区域。

每个片层 260 设置在自身的铰接销上。每个铰接销 280 可绕自身的纵轴旋转，从而通过绕纵轴旋转铰接销 280 来枢转各个的片层 260。

图 27b 显示了根据本发明的一个装置处于如下情形：其中这些片层枢转到这样一个位置，其减小了转子叶片 100 的气动有效表面积。在这种情况下，片层 260 枢转到前部区域 110 的背风面。因此，片层不再形成转子叶片的表面的一部分，使得它们不再受到风和任何升高的载荷的作用。

这样一种装置实现为，除了铰接销 280 绕它们的纵轴旋转外，图中的左铰接销 280 和转子叶片 100 的前部区域 110 之间的距离以及铰接销 280 之间的相互距离减小了。

虽然图中仅显示了位于吸力侧表面的一延伸部，自然地，也可以可选地或同时地改变压力侧的表面的大小。

如果一个风力发电系统具有上述的转子叶片，并且出现了一个极端风力条件时，不仅可以借助风速指示器确定高风力，还可以借助相应的控制装置来显著减小转子叶片表面的大小。根据图 20 和 21，图 20 所示的转子叶片的表面积比图 21 所示的转子叶片的表面积大 10%。当风力发电系统运行在正常模式时，例如，风速介于 2—20 m/s 之间时，转子叶片调整到它的正常尺寸。一旦风速增大到高于 20m/s，该表面积可以如图 21 所示显著地减小。

优选地，所述控制装置以计算机辅助的方式实现，并确保如果需要可以分别调整转子叶片的最佳表面积。

图 33 显示了根据本发明的转子叶片的另一个变体。在这个情况下，所述结构由可枢转的环 320 组成，该环 320 由一可变形薄膜覆盖并枢转支撑在支撑点 340 处。在朝转子叶片梢部（箭头）移动的过程中，这些环例如绕所述支撑点 340 枢转，以改变后部盒体的型面。

图 28—33 显示了图 22—27b 的其它可选和补充的变体。

图 30b（图 30a 基本上对应于图 25）显示了对图 25 的一种改进，其在压力侧具有一个辅助单元 250。因为弹簧 280 的接触点分别相对于图 25 和 30a 没有改变，必须将单元 240 和 250 连接在叶片后缘上，使得它们可以

绕一个结合点 260 枢转。在某些情况下，可以在这个变体中将转子叶片箱体 110 实现为沿转子叶片的长度（转子叶片的长度在图 1 中用符号 L 表示）方向上与单元 250 重叠。

图 31b（为图 26 和 31a 的一个扩展变体）还示出了位于压力侧上的一个单元 250，该单元如同单元 240 一样通过一个机械连接件连接到吸力侧的相同轴杆 120 上。

图 32a 和 32b 显示了根据图 27a 和 27b 的变体的进一步改进。在该例中，为压力侧的相应单元提供分离的轴杆 280。类似于图 27a，图 32a 显示了处于正常运行模式下的一个转子叶片。图 32b 显示了一种情形，其中所述后部箱体通过相应地转动或移动轴杆 280 来变得无效。

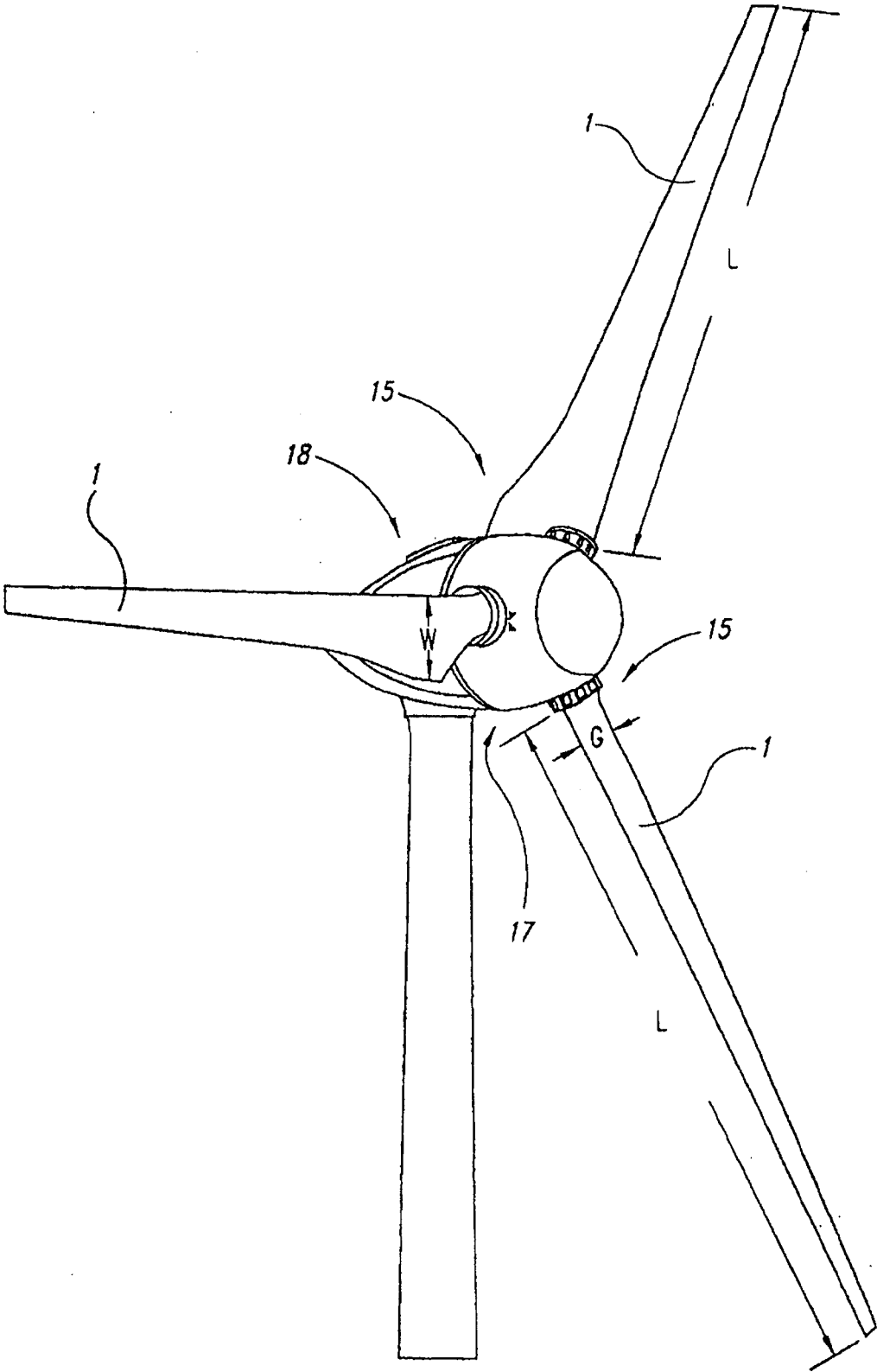


图 1

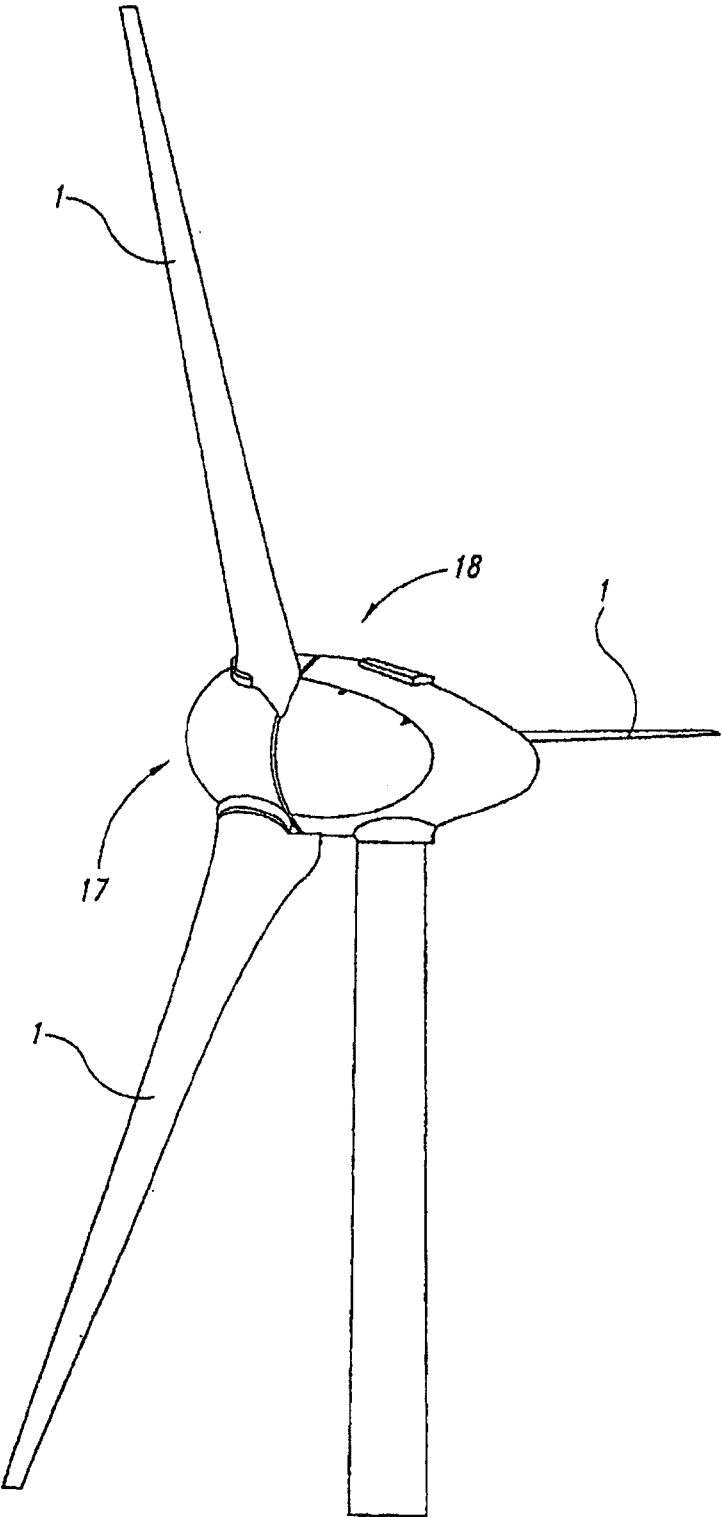


图 2

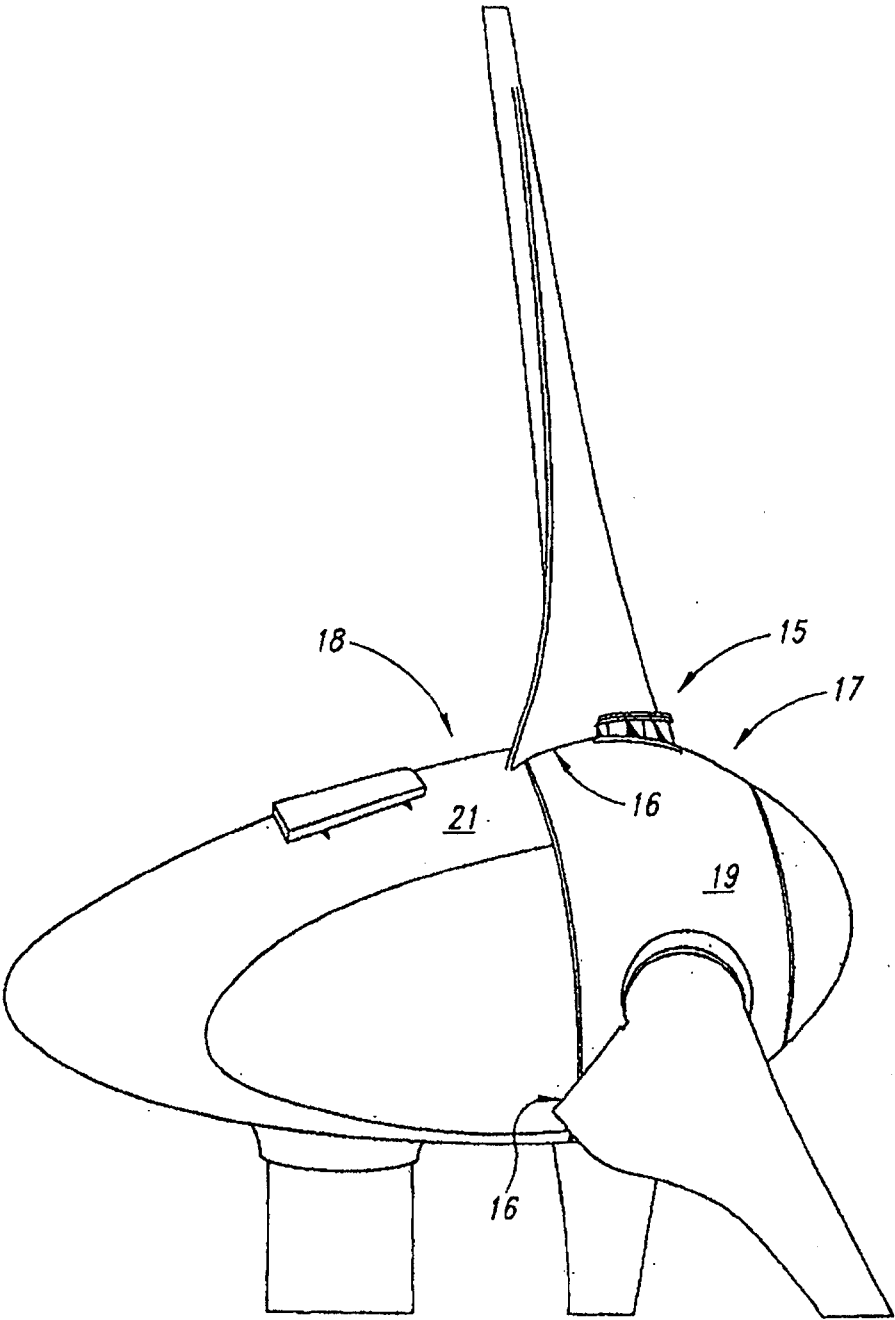


图 3

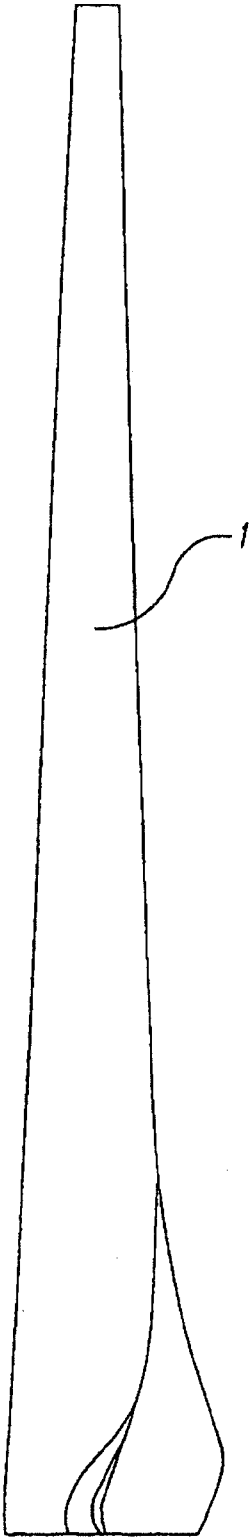


图 4

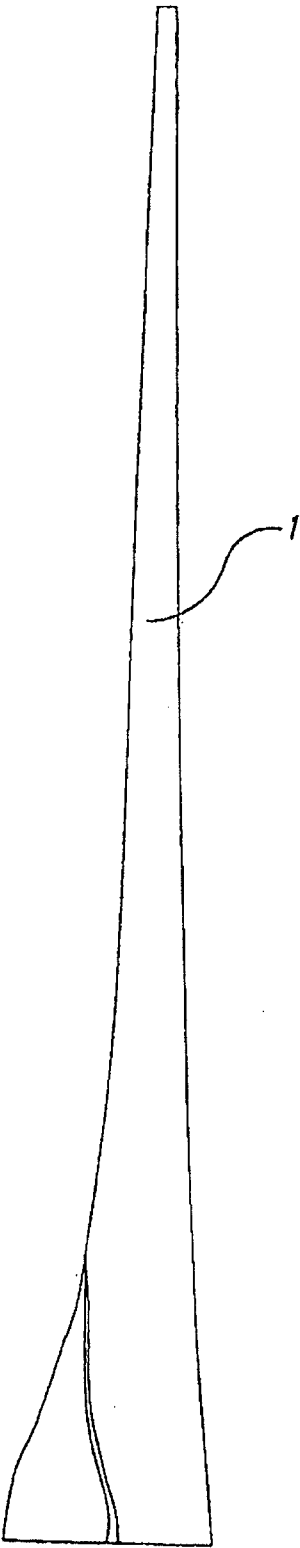


图 5

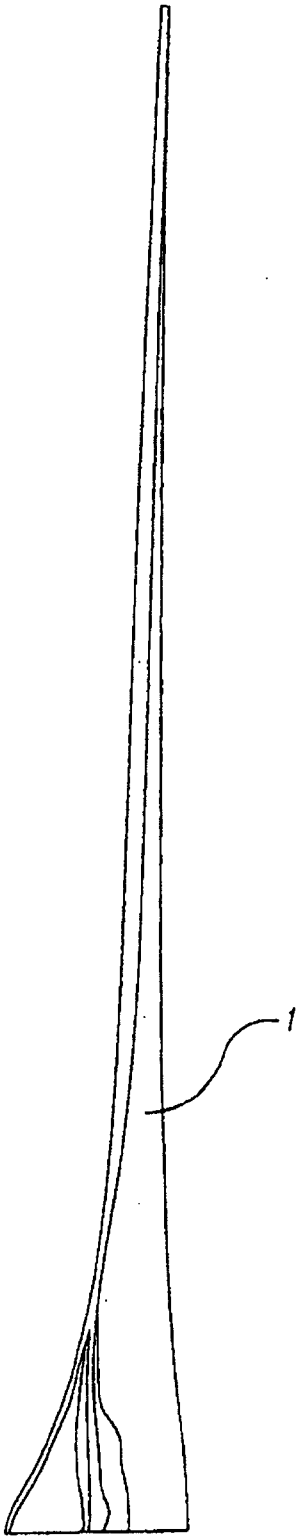


图 6

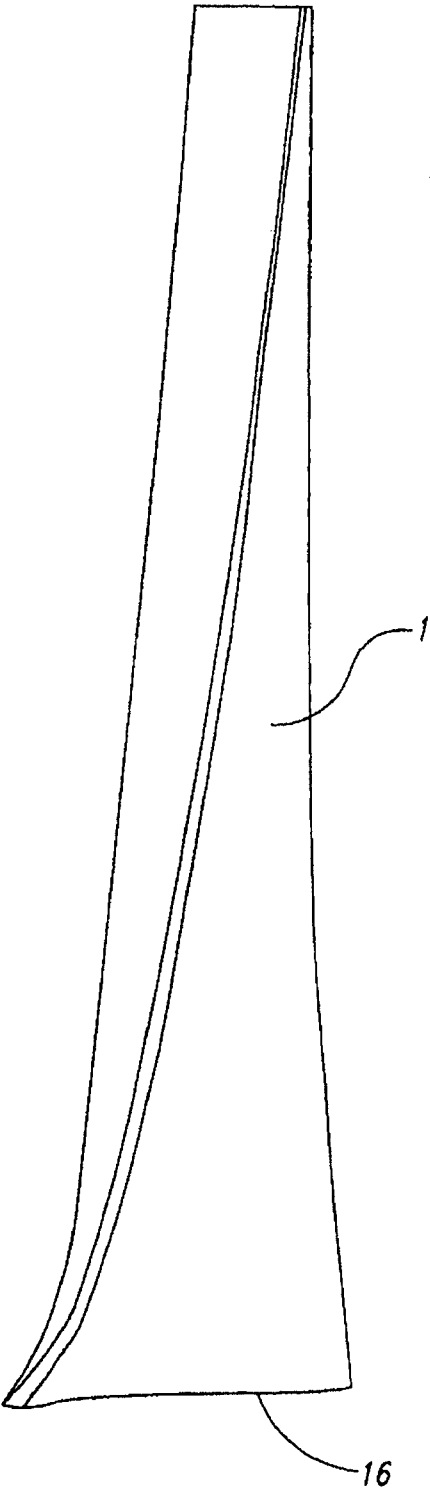


图 7

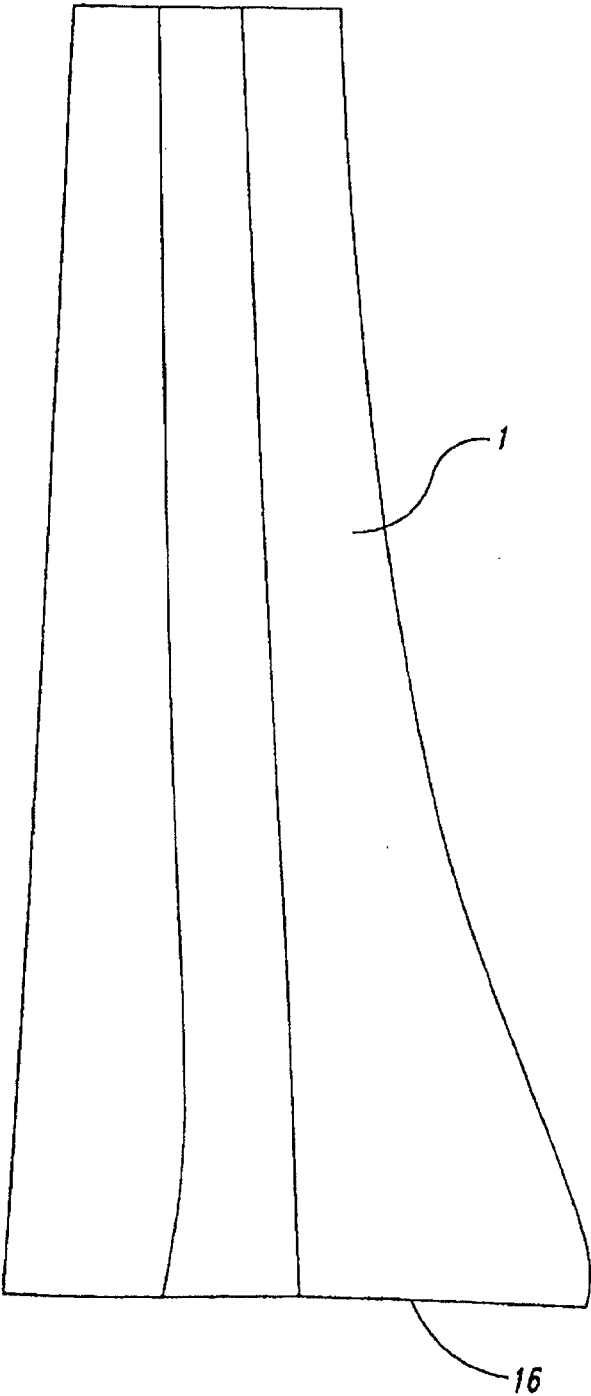


图 8

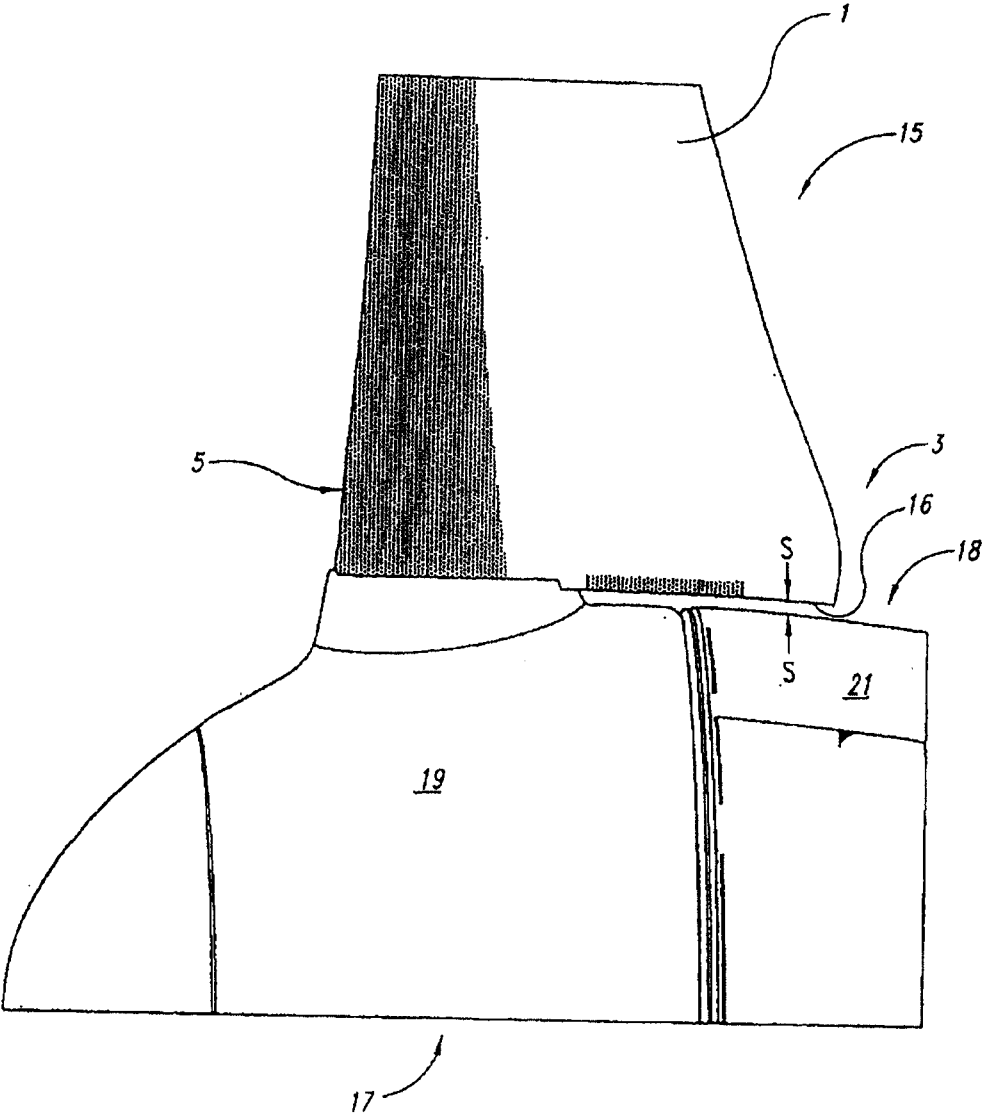


图 9

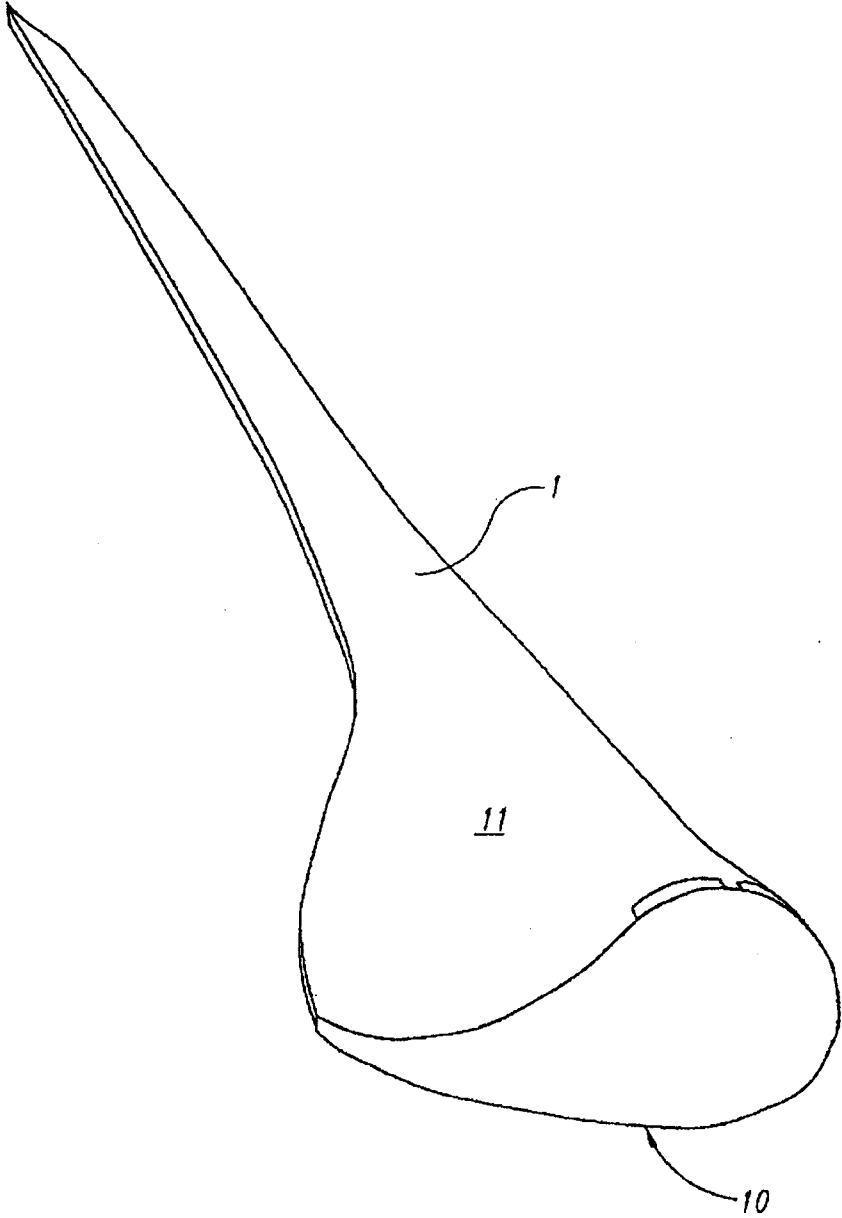


图 10

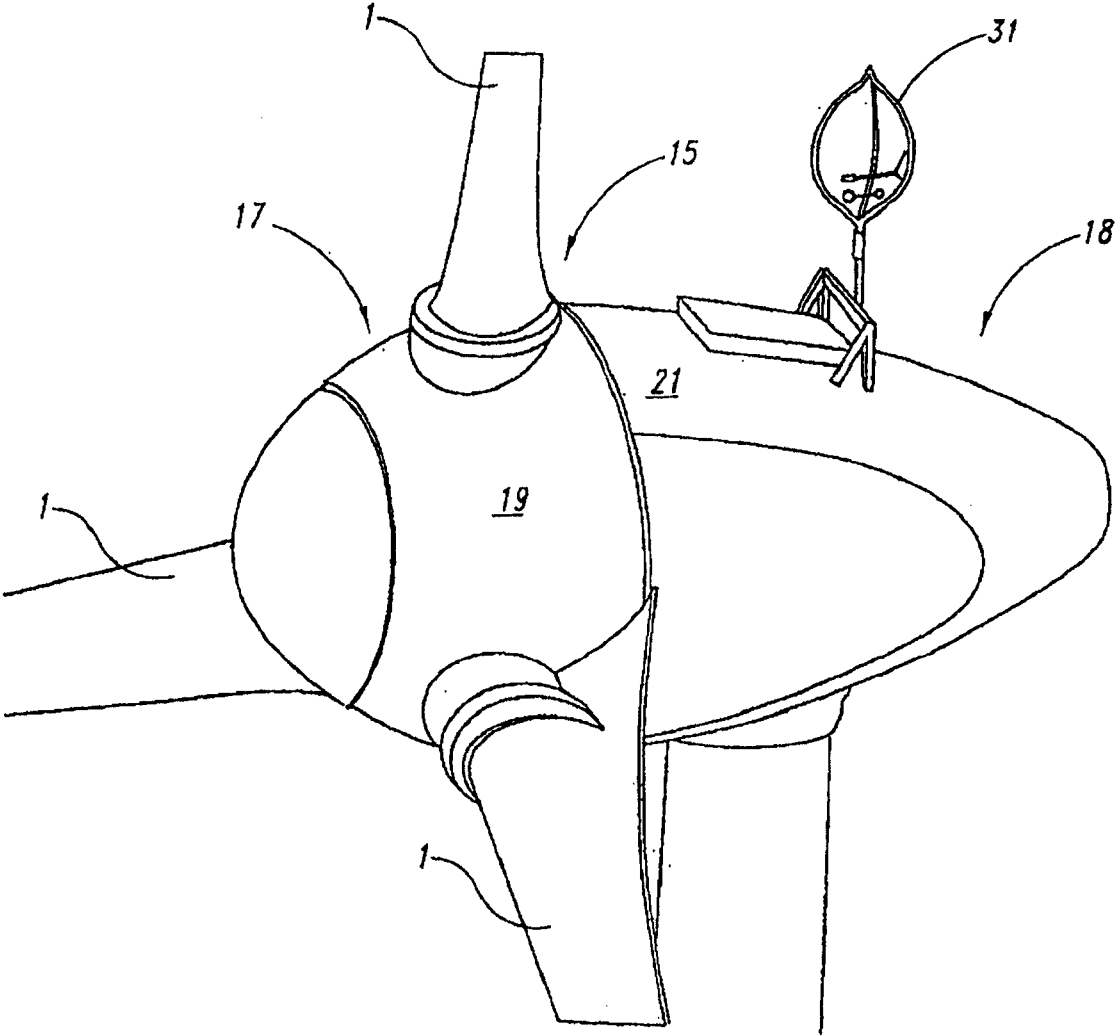


图 11

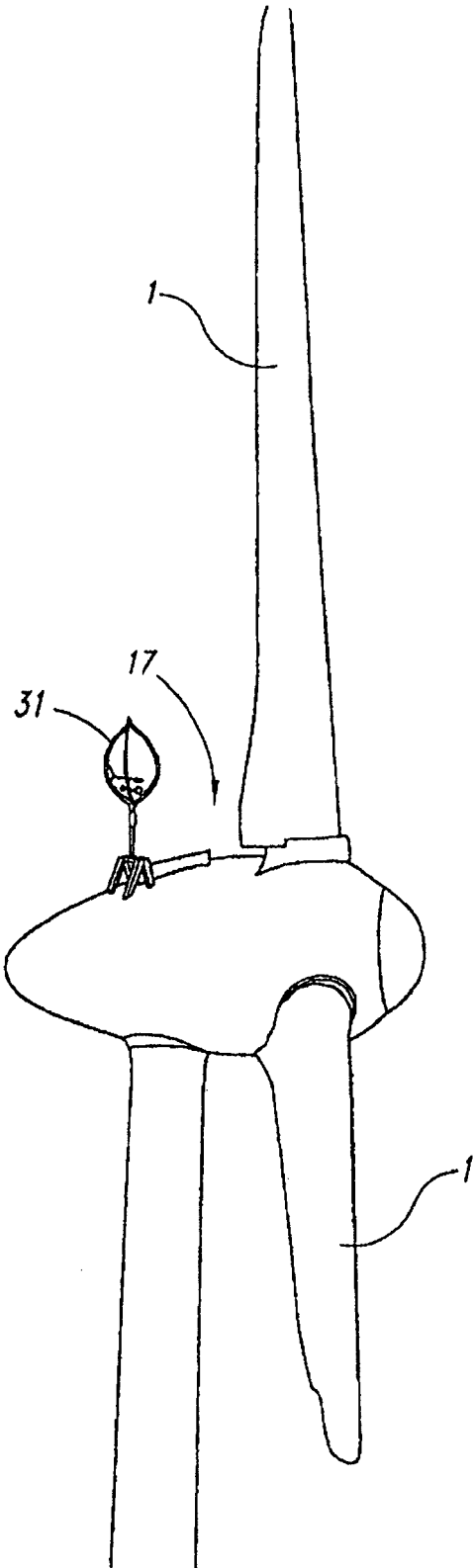


图 12

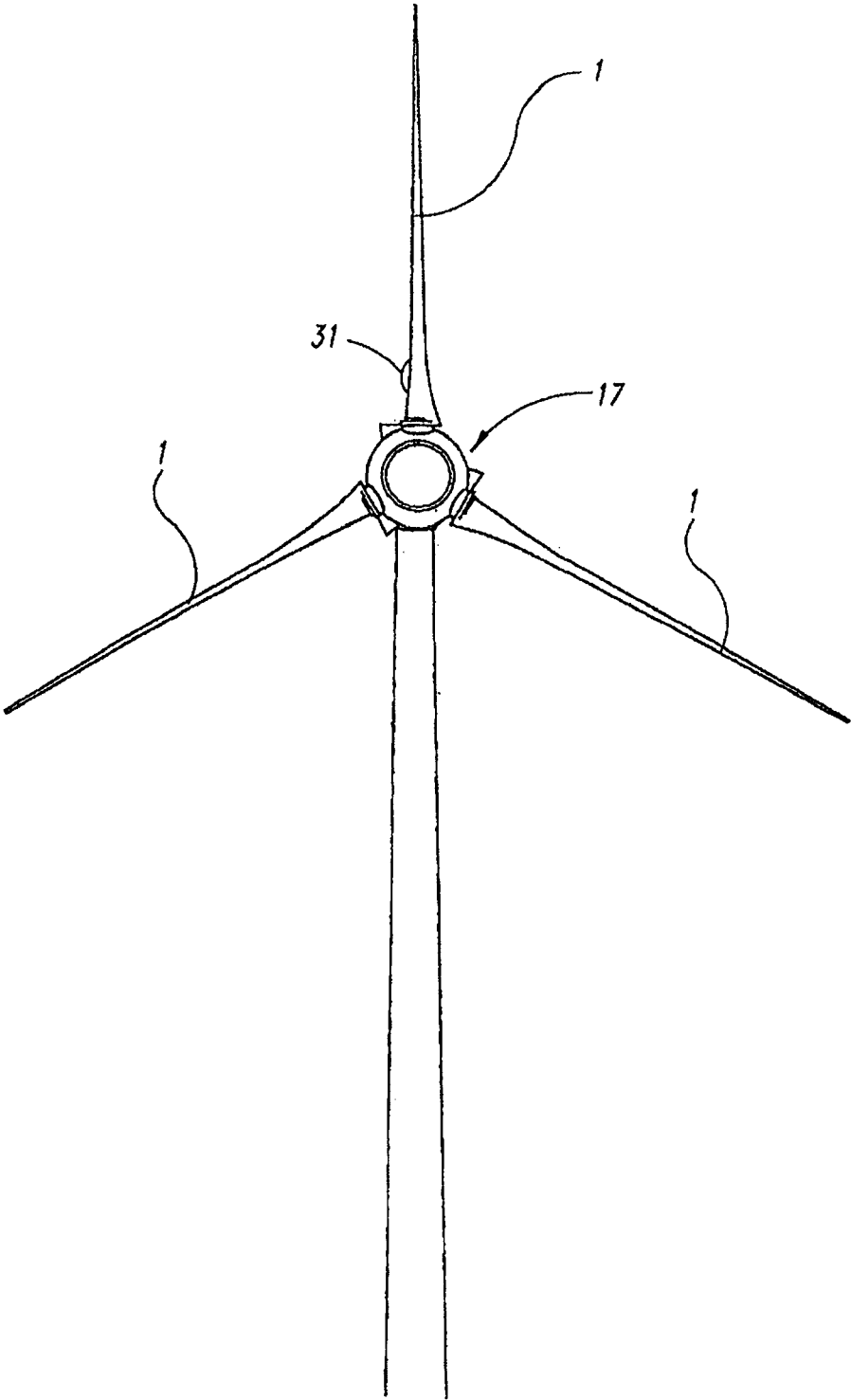


图 13

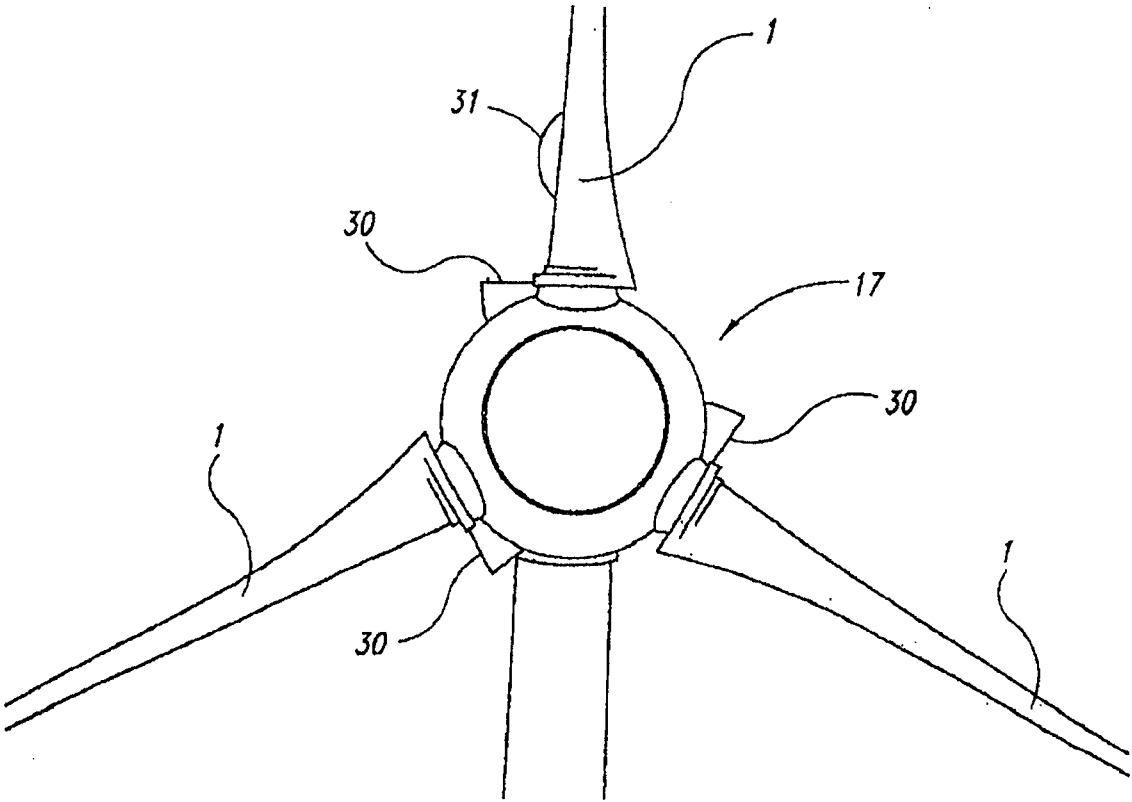


图 14

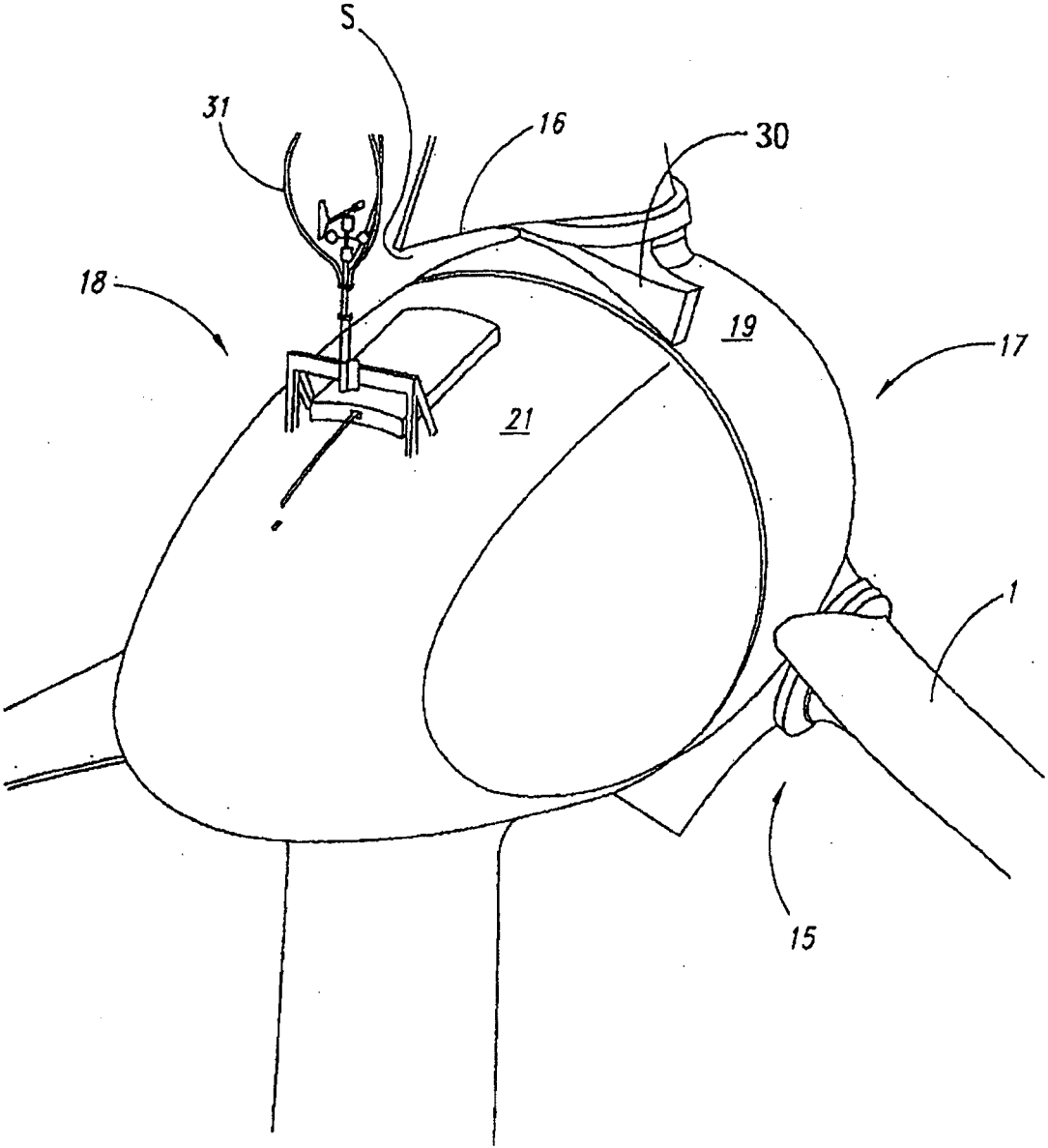


图 15

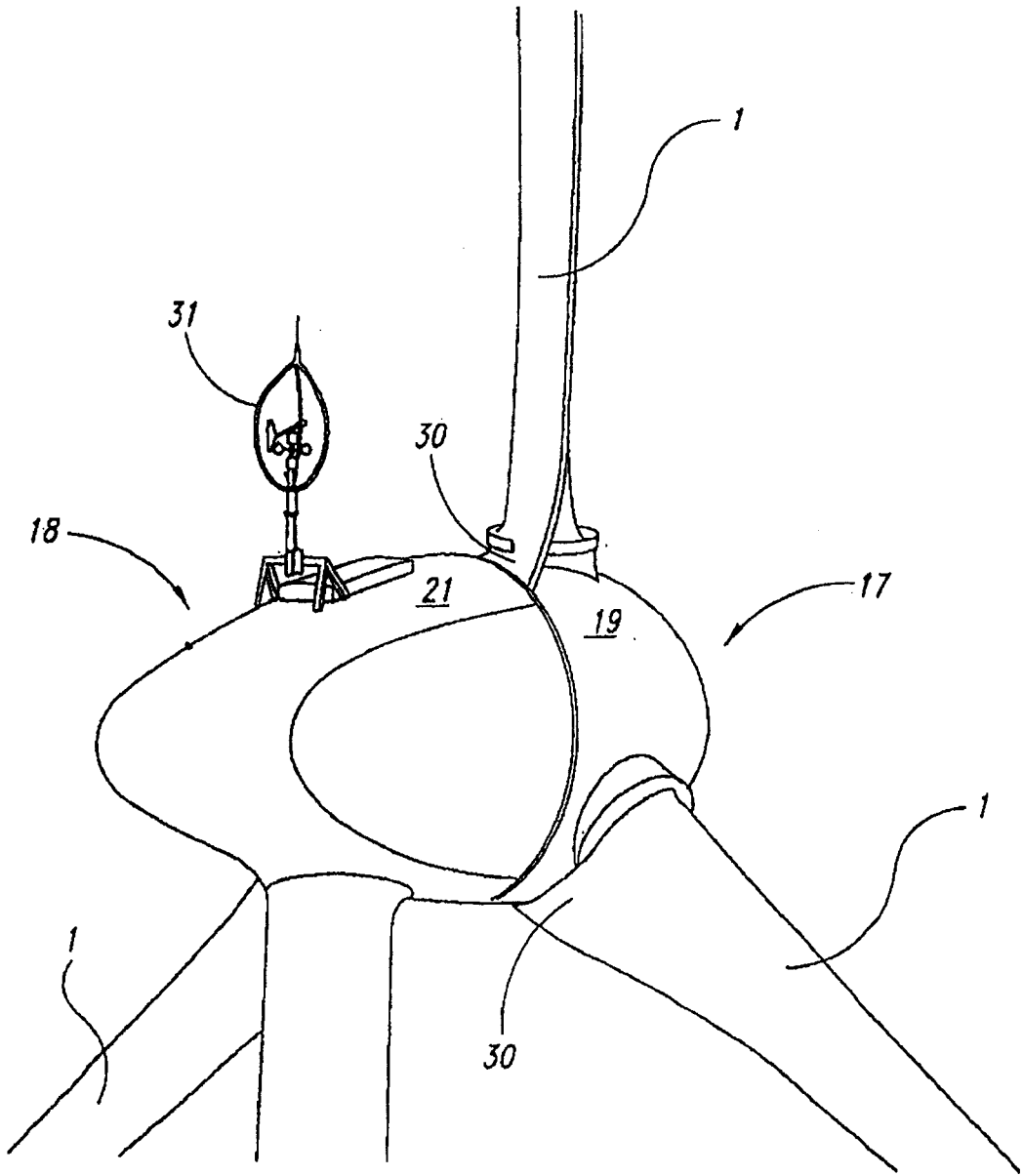


图 16

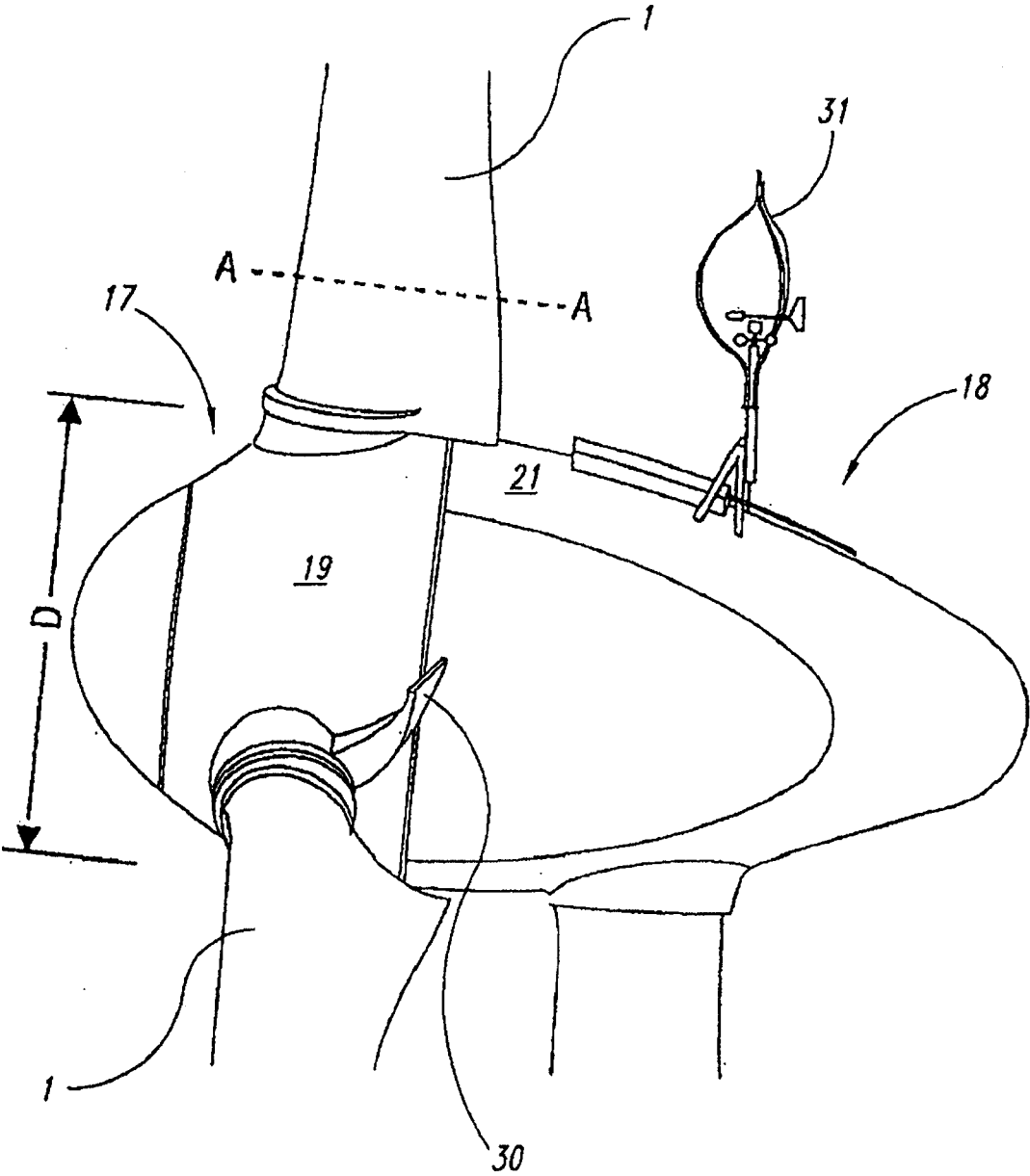


图 17

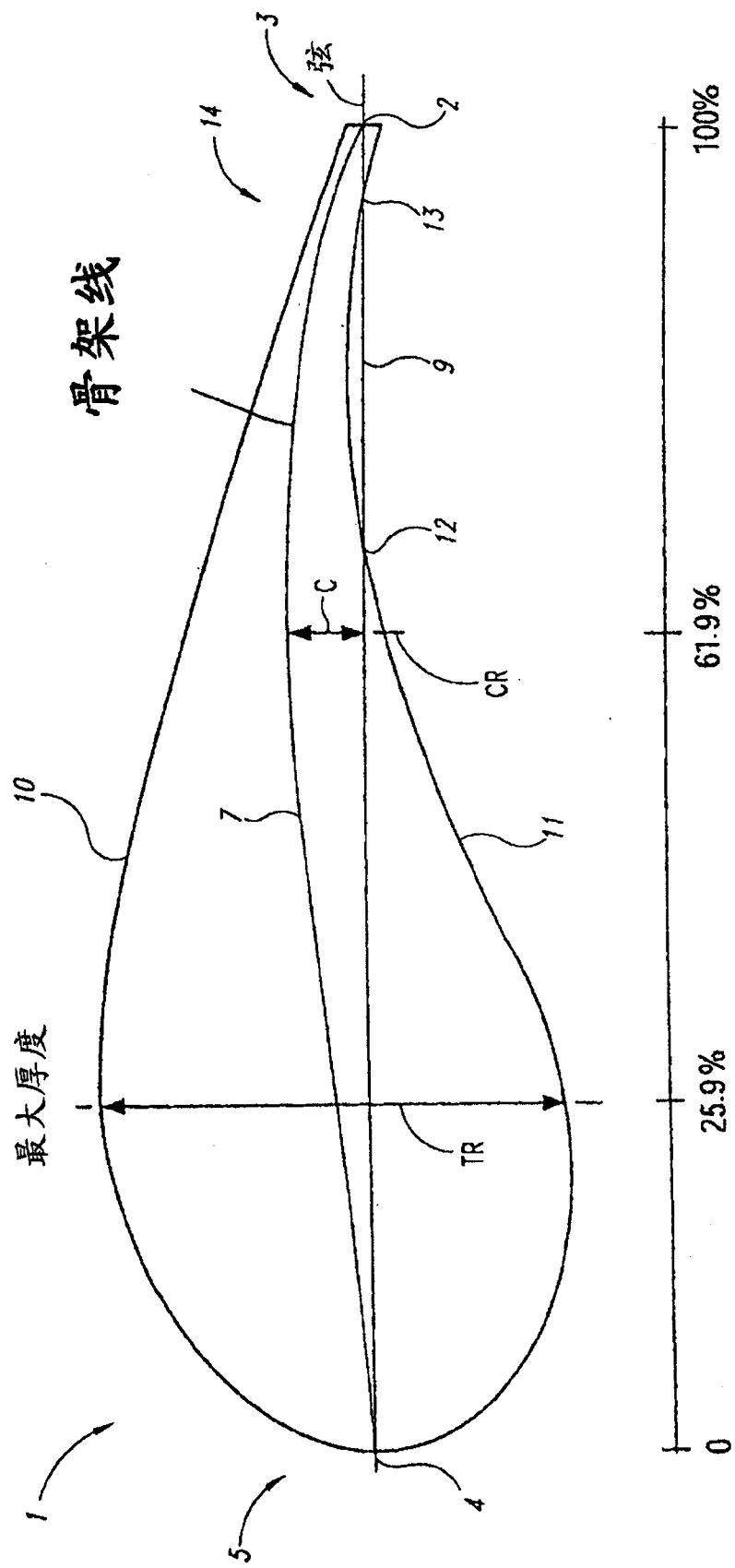


图 18

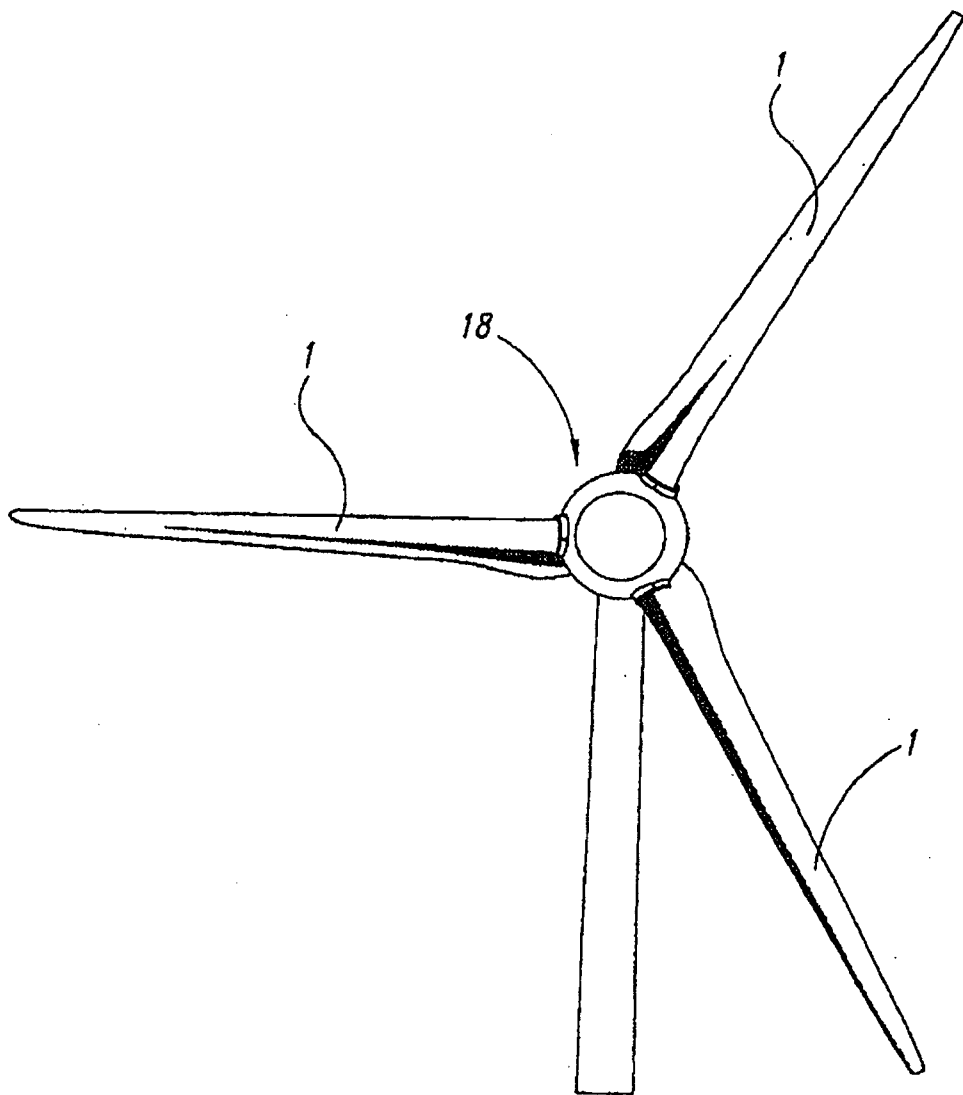


图 19

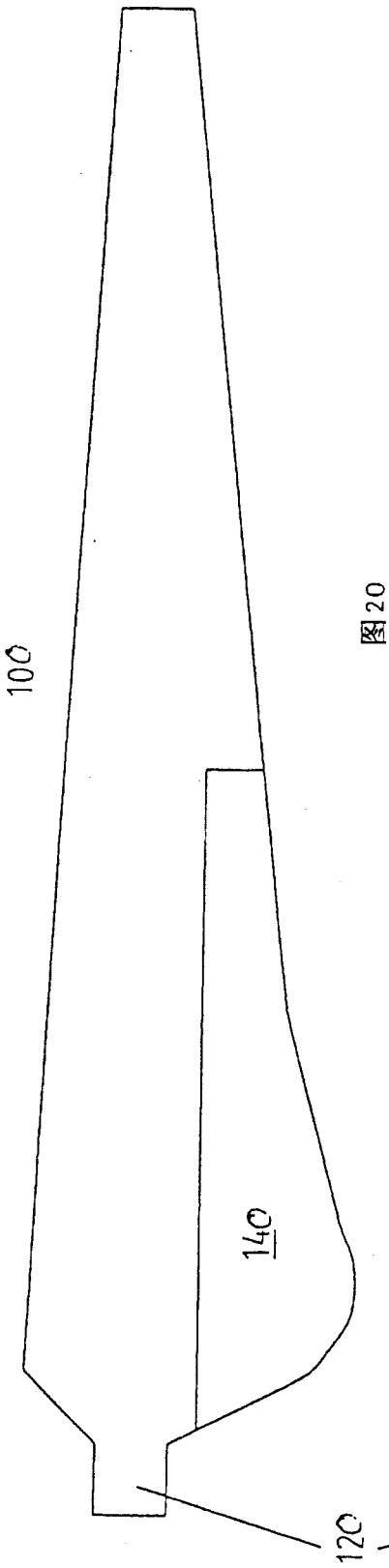


图 20

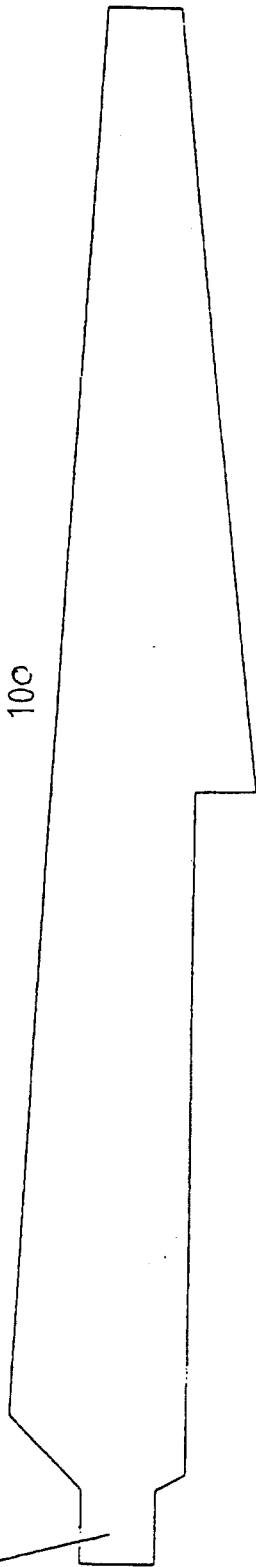


图 21

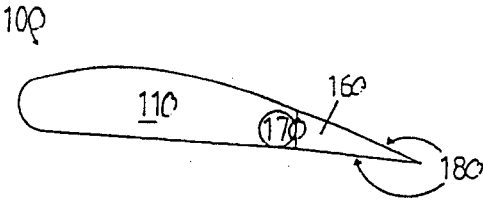


图 22

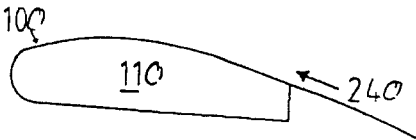


图 23

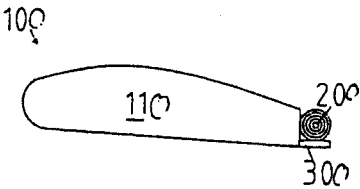


图 24a

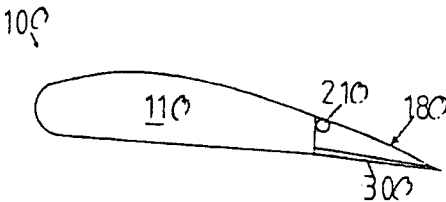


图 24b

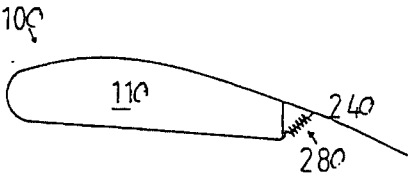


图 25

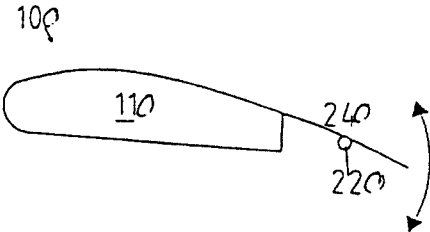


图 26

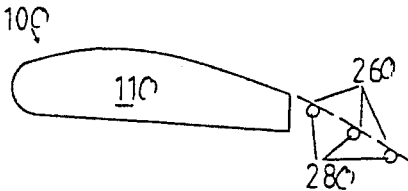


图 27a

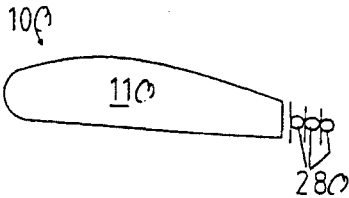


图 27b

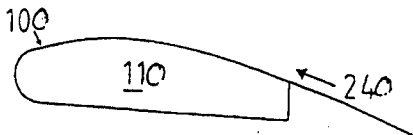


图 28a

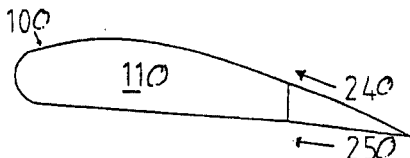


图 28b

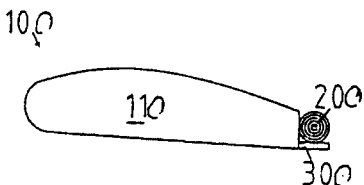


图 29a

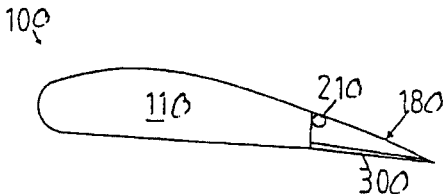


图 29b

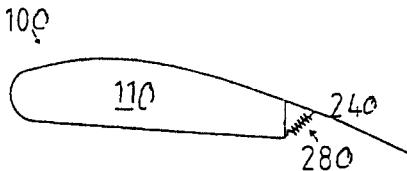


图 30a

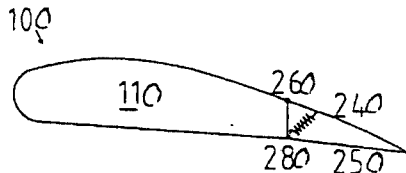


图 30b

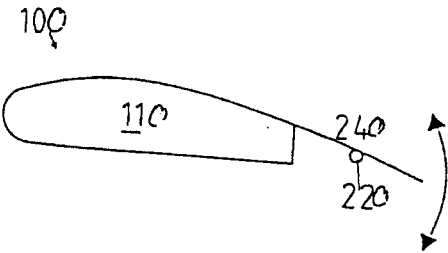


图 31a

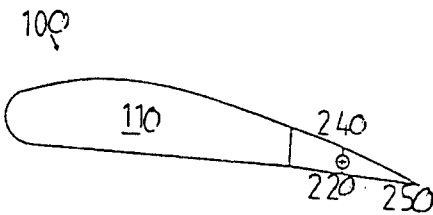


图 31b

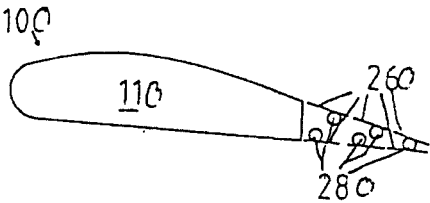


图 32a

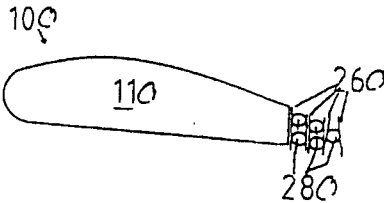


图 32b

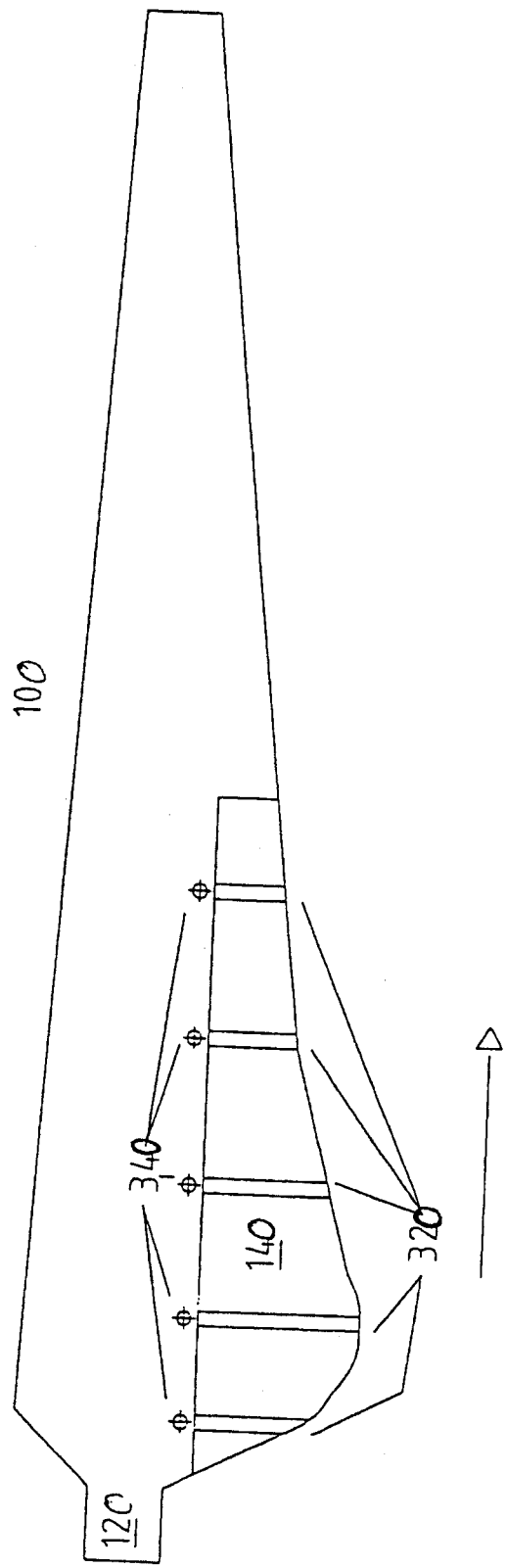


图 33