

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480011523.0

[51] Int. Cl.

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

[43] 公开日 2006 年 5 月 31 日

[11] 公开号 CN 1780983A

[22] 申请日 2004.3.31

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

[21] 申请号 200480011523.0

代理人 吴 鹏 秘凤华

[30] 优先权

[32] 2003.3.31 [33] DK [31] PA200300491

[86] 国际申请 PCT/DK2004/000225 2004.3.31

[87] 国际公布 WO2004/088130 英 2004.10.14

[85] 进入国家阶段日期 2005.10.28

[71] 申请人 里索国家实验室

地址 丹麦罗斯基尔德

[72] 发明人 D·C·巴克 T·布尔

P·富格尔桑 H·A·马德森

F·拉斯穆森

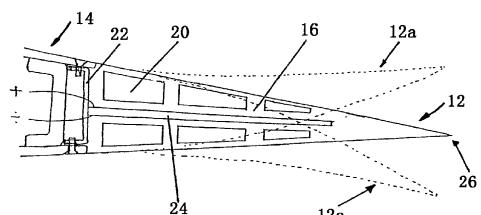
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 5 页

[54] 发明名称

利用可变叶片几何形状控制对水平轴风轮机的功率、载荷和/或稳定性进行控制

[57] 摘要

本发明涉及一种设计概念，根据该设计概念，通过使用主动几何形状控制（例如，智能材料或嵌入式机械致动器），或使用被动几何形状控制（例如由叶片的载荷和/或变形导致的变化），或这两种方法的组合使叶片的几何形状快速变化，以控制风轮机的功率、载荷和/或稳定性。本发明具体涉及风轮机叶片，风轮机以及控制风轮机的方法。



1. 一种风轮机叶片，包括：

一个或多个可变形的翼面部分，其中每个可变形的翼面部分的外表面在其所有形状中都基本是连续的，以及
用于在可变形翼面部分内提供形状改变的致动器装置。

2. 一种根据权利要求 1 所述的风轮机叶片，其特征在于，该致动器装置是主动装置，即，可通过向该装置提供能量而使其提供形状改变。

3. 一种根据权利要求 1 或 2 所述的风轮机叶片，其特征在于，每个可变形的翼面部分包括一基本不可变形部分和一个或多个可变形部分。

4. 一种根据权利要求 3 所述的风轮机叶片，其特征在于，至少一个该可变形部分的外表面是由蒙皮限定的，该蒙皮由柔性材料例如橡胶制成。

5. 一种根据权利要求 4 所述的风轮机叶片，其特征在于，至少一个该可变形部分是壳结构，其中蒙皮限定该壳。

6. 一种根据权利要求 5 所述的风轮机叶片，其特征在于，该壳结构的内部用可变形的支承材料，例如由塑料或橡胶制成的泡沫填充。

7. 一种根据权利要求 4 至 6 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该基本不可变形部分的外表面和可变形部分的蒙皮之间的过渡基本是平滑的，例如基本连续。

8. 一种根据权利要求 4 至 8 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该不可变形部分包括邻接面，该蒙皮紧靠在该邻接面上，该邻接面成形为使得该基本不可变形部分的外表面和蒙皮之间的过渡基本是平滑的，例如基本连续。

9. 一种根据权利要求 4 至 8 中任一项所述的风轮机叶片，其

特征在于，该致动器装置作用在蒙皮的内侧上。

10. 一种根据权利要求 4 至 9 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该致动器装置是可纵向延伸的装置，优选地是液压装置，其一端连接到该蒙皮而另一端连接到该基本不可变形部分或一结构件，该结构件连接到该基本不可变形部分。

11. 一种根据权利要求 10 所述的风轮机叶片，其特征在于，该可纵向延伸的装置在一端附装到该翼面的上侧或下侧附近。

12. 一种根据权利要求 10 或 11 所述的风轮机叶片，其特征在于，该可纵向延伸的装置主要在翼弦方向延伸，并且，连接到所述蒙皮的端部是在翼面的下侧连接到该蒙皮上，而连接到该基本不可变形部分或该结构件的端部是连接到翼面上侧的附近，反之亦然。

13. 一种根据权利要求 10 至 12 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该可纵向延伸的装置是可延伸的活塞装置。

14. 一种根据权利要求 4 至 8 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该蒙皮附装到该基本不可变形部分上，并且该致动器装置位于该蒙皮内。

15. 一种根据权利要求 14 所述的风轮机叶片，其特征在于，该致动器装置是这样的材料，即，该材料的伸长、缩短和/或弯曲均可由所施加的电流控制，该材料例如是智能材料。

16. 一种根据权利要求 15 所述的风轮机叶片，其特征在于，该材料优选地以这样的方式夹在或嵌入蒙皮内，即，在蒙皮变形期间该材料和蒙皮的材料之间不会发生滑动。

17. 一种根据权利要求 15 或 16 所述的风轮机叶片，其特征在于，该材料优选地以这样的方式附置在蒙皮的内表面上，即，在蒙皮变形期间该材料和蒙皮的材料之间不会发生滑动。

18. 一种根据权利要求 3 所述的风轮机叶片，其特征在于，该至少一个可变形部分由柔性材料例如橡胶制成，并且该致动器装

置是在该材料内延伸的可延伸梁。

19. 一种根据权利要求 18 所述的风轮机叶片，其特征在于，该至少一个可变形部分仅由柔性材料制成，并具有一个或多个孔。

20. 一种根据权利要求 18 或 19 所述的风轮机叶片，其特征在于，该可延伸梁由这样的材料制成，即，该材料的伸长、缩短和/或弯曲均可由所施加的电流控制，该可延伸梁例如由智能材料制成。

21. 一种根据权利要求 1 所述的风轮机叶片，其特征在于，该致动器装置是被动的，即，该装置由于叶片的运动而提供形状改变，所述运动优选地是叶片的扭转、弯曲和/或旋转。

22. 一种根据上述权利要求中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该基本不可变形部分是该叶片的中央部分，该一个或多个可变形部分是前缘区域和/或后缘区域。

23. 一种根据权利要求 1 至 22 中任一项所述的风轮机叶片，其特征在于，该基本不可变形部分是载荷支承部分。

24. 一种具有一个或多个根据权利要求 1 至 23 中任一项所述的风轮机叶片的风轮机。

25. 一种控制风轮机的工作条件的方法，该风轮机包括一个或多个叶片，每个叶片均具有一个或多个可变形的翼面部分，所述工作条件优选地是叶片上的载荷、风轮机产生的功率、空气引起的噪声、风轮机的稳定性和/或类似物；所述方法包括控制该可变形翼面部分的形状，其中进行形状的改变不会在翼面部分的表面上引入不连续。

26. 一种根据权利要求 25 所述的方法，其特征在于，该可变形翼面部分中的每一个或一些具有一个或多个根据权利要求 1 至 24 中任一项所述的特征。

27. 一种根据权利要求 25 或 26 所述的方法，其特征在于，该风轮机包括用于检测一个或多个工作条件的检测装置，其中所检

测的工作条件被输入计算机系统，该计算机系统包括根据所述输入确定在一些或全部可变形的翼面部分上将施加的形状变形的功能。

28. 一种根据权利要求 27 所述的方法，其特征在于，该检测装置包括设置在风轮机的一个或多个部件上的用于测量叶片流动压力、转子位置的装置和/或应变计、加速计等，所述部件通常且优选地为叶片、引擎舱和/或塔架。

29. 一种根据权利要求 25 至 28 中任一项所述的方法，其特征在于，将变形引入该可变形翼面部分的典型时间尺度小于转子旋转一次的时间，优选地小于转子旋转一次的时间的一半，例如小于转子旋转一次的时间的四分之一，例如小于叶片旋转 10° 例如 15° 所用的时间。

30. 一种根据权利要求 25 至 29 中任一项所述的方法，其特征在于，该方法还包括设定和/或改变每个叶片的全翼展倾角的步骤。

利用可变叶片几何形状控制对水平轴风轮机的 功率、载荷和/或稳定性进行控制

技术领域

本发明的优选实施例涉及一种设计概念，根据该设计概念，通过使用主动几何形状控制（例如，智能材料或嵌入式机械致动器），或使用被动几何形状控制（例如由叶片的载荷和/或变形导致的变化），或这两种方法的组合使叶片的几何形状快速变化，以控制风轮机的功率、载荷和/或稳定性。本发明具体涉及风轮机叶片，风轮机以及控制风轮机的方法。

背景技术

几乎所有现今制造的大型风轮机均在叶片根部设有倾斜轴承，从而可通过启动倾斜机构容易地改变整个叶片的倾角（斜度，pitch）。叶片倾角的改变用作使转子停止不动的制动器，还可用于以不同方式控制功率和载荷。在现行的失速受控的风轮机上，可通过较慢地改变叶片的倾角来调节该倾角，以便叶片正好在最大功率下发生失速，但是该倾斜系统还可在低风速下起作用以使功率最大。在倾角受控的风轮机上，倾角在大风下连续改变，从而不会超过最大功率。这是通过在风速增加时减小叶片的入流角（迎流角，inflow angle）来实现的。该倾斜系统还可在低风速下使用以使功率最大。

近来，新型倾角调节风轮机也使用该倾斜系统，以通过循环倾斜或单个叶片倾斜来减小动态载荷。该控制系统可使用不同的输入信号，例如襟翼方向的载荷。

除了这种现有技术的通过叶片倾角变化来进行控制之外，已有人提出用可移动的、小的控制面来控制功率和载荷[2]。在 USA 由 ZOND 设计的

550kW 风轮机使用一种局部延展的副翼系统来控制功率和转子旋转速度 [1]。该副翼系统类似于飞机的后缘襟翼。还有人提出并分析了连接到叶片的后缘的 Gurney 襟翼[3]（参照[3]的图 1）。小控制面的优点是：与整个叶片被倾斜的情况相比，由于较小的惯性因而可较快地响应。但是，Gurney 襟翼的一个缺点是：来自 Gurney 襟翼的自由端以及来自叶片内的 Gurney 襟翼所处的位置处的间隙的气动噪声会增大。

在航空工业内，已研究和使用了前缘下垂和后缘襟翼。在[5]中示出由这些装置所获得的翼面特性的示例，并在图 2 和 3 内举例说明。这是本发明预期的相同效果的变型。另外，还有人研究了微型航空器的空气动力学，其中已提出柔性翼面，参见[4]。

发明内容

可以设想，本发明可通过沿叶片翼展的部分或全部在前缘区域和后缘区域内连续改变翼面几何形状，以基本上瞬时地并沿风轮机转子的叶片局部地控制空气动力。在优选实施例内，这可通过这样的叶片结构来实现，即，该叶片结构包括位于翼面的中央部分内的刚性的载荷承载部分以及可变形的前缘区域和/或后缘区域。载荷承载部分和可变形部分之间的连接优选地是连续的，即不存在会导致产生噪声的边缘。

因此，本发明的第一方面优选地涉及一种风轮机叶片，其包括：

-一个或多个可变形的翼面部分，其中每个可变形的翼面部分的外表在其所有形状中都基本是连续的，以及

-用于在可变形的翼面部分内提供形状改变的致动器装置。

应指出，后缘本身的最下游的点可以不连续，并且在该可变形翼面部分变形期间以及变形之后会一直保持这种不连续。另外，当结合例如叶片的形状使用时，特征“连续”优选地但不仅仅是指这样的形状，即，该形状不会破坏通过轮廓或表面的气流，例如不会分隔气流。如果翼面部分或叶片的轮廓或表面的一阶、二阶以及可选地三阶导数是光滑和连续的，则可以优选地但不是唯一地认为该轮廓或表面是连续的。此外，尽管参照风

轮机叶片说明了本发明，但是可以设想，本发明也可应用于其它依靠空气动力上升的物体（lifting bodies）例如飞行器机翼等。

文中所用的术语“前缘区域”和“后缘区域”优选地是指这样的区域，即，该区域在翼弦方向的延伸在翼弦长度的 20% - 30% 的范围内，例如在翼弦长度的 10% - 20% 的范围内，但不仅限于此。

基于本发明的设计的示例是：使用智能材料或通过结合在可变形材料内的机械致动器，以改变前缘区域和后缘区域的外部几何形状，并从而改变叶片部分的空气动力。

在下文中使用术语“智能材料”。该术语是指这样的材料，即，一旦在该材料上施加电压该材料就变形，例如优选的材料是活性压电复合材料。但是，也可使用其变形可被主动控制的其它材料，并且这些材料对于本发明是优选的。

可通过利用单个材料的特性，或通过组合多种成分的特性和功能以构成智能材料，从而获得智能材料。尤其优选的领域是微电子机械系统（MEMS）领域。可利用材料的机械的、热的、电的、化学的、生物的和/或光学的功能性来增加优选实施例的智能性。优选的材料包括：形状记忆合金、压电材料、磁致伸缩材料、电流变流体、电致变色材料、电致聚合物、手性材料、导电聚合物、光敏材料、厚膜和薄膜、光导纤维、可调电介质、自监控材料、自组装材料、自修复/恢复材料、生物材料、电源、能源和自供电、多层和复合材料和/或智能复合材料。

翼面的可变形部分的致动可通过主动控制、被动控制或这两种控制的组合来实现。主动控制优选地包括风轮机控制系统，其优选地通过位于不同部件上的叶片入流测量装置、流动压力计、应变计和加速计对载荷、振动和/或稳定性进行监控，以向智能材料或致动器提供输入信号，该信号随后几乎立即改变翼面部分的几何形状并由此改变空气动力。被动控制优选地包括由叶片变形的影响导致的几何形状的改变，例如由叶片在襟翼方向的弯曲或由压力波动导致的有效弯度的改变，该压力波动源于与气流的交互作用。

已发现，本发明的优选实施例可以通过控制沿叶片的瞬时空气动力来减小动态载荷，该动态载荷来自平均入流中的剪切、来自入流中的紊流，以及来自自由叶片的固有运动产生的动态载荷。也可以大大减小由塔架的影响而产生的载荷。本发明的优选实施例还可以例如在叶片通过塔架的尾流时，通过减小翼面上方的动态压力变化而减小气动噪声。

可变叶片几何形状概念的使用可与例如在叶片启动和停止时使用的全翼展倾角控制相结合，以根据平均风速调整功率和载荷，并在转子静止时在极限风速下减小载荷。

可以设想，根据本发明的优选实施例可提供以下优点中的一个或多个：

- 在控制操作期间叶片表面完全连续，这样可降低气动噪声并提高空气动力效率；
- 因为可变形材料不承载主要的叶片载荷，所以其可以由低密度的和柔性的材料制成，从而可以快速响应；
- 沿叶片可实现不同的控制操作，这例如可用于在不同的叶片型式中减小动态载荷并抑制振动，从而提高风轮机的稳定性；
- 因为可在最终地点安装叶片的几何形状可变的部分，所以叶片更容易运输。

在风轮机叶片的优选实施例中，与通过作用在叶片上的外力实现形状改变的设计相反，致动器装置可以是主动装置，即，可通过向该装置提供能量而使其提供形状改变。在尤其优选的实施例中，每个可变形的翼面部分包括一基本不可变形的部分和一个或多个可变形部分。

至少一个该可变形部分的外表面优选地由蒙皮（skin）限定，该蒙皮是由柔性材料例如橡胶制成，并且在这些实施例中，至少一个该可变形部分优选地是壳结构，其中蒙皮限定了该壳。另外，该壳结构的内部可用可变形的支承材料例如由塑料或橡胶制成的泡沫填充。

通常优选地，基本不可变形部分的外表面和可变形部分的蒙皮之间的过渡基本是平滑的，例如基本连续。

在优选实施例中，该不可变形部分可包括邻接面，蒙皮紧靠在该邻接

面上，并且该邻接面成形为优选地使该基本不可变形部分的外表面和蒙皮之间的过渡基本是平滑的，例如基本连续。在优选实施例内，该邻接面可设置在连接到该不可变形部分的一结构件上。

在许多优选实施例中，该致动器装置作用在蒙皮的内侧上。

在许多优选实施例中，该致动器装置是可纵向延伸的装置，优选地是液压装置，其一端连接到该蒙皮，而另一端连接到该基本不可变形的部分或一结构件上，该结构件连接到该基本不可变形的部分。此外，在许多优选实施例内，该可纵向延伸装置在一端附装在该翼面的上侧或下侧附近。

该可沿纵向延伸的装置优选地主要在翼弦方向上延伸。连接到该蒙皮的端部优选地在翼面的下侧连接到该蒙皮，而连接到该基本不可变形的部分或该结构件的端部优选地连接在翼面上侧的附近，反之亦然。

在尤其优选的实施例中，该可沿纵向延伸的装置是可延伸的活塞装置。

在许多优选的实施例中，该蒙皮可附装到该基本不可变形的部分上，而该致动器装置优选地位于该蒙皮内。该致动器装置优选地是这样的材料（material composition），该材料的伸长、缩短和/或弯曲均可由所施加的电流控制，该材料例如是智能材料。此外，该材料优选地可以这样的方式夹在或嵌入蒙皮内，即，在蒙皮变形期间材料和蒙皮的材料之间不会发生滑动。可选择地或与其相结合地，该材料优选地可以这样的方式附置在蒙皮的内表面上，即，在蒙皮变形期间该材料和蒙皮的材料之间不会发生滑动。

在许多尤其优选的实施例中，该至少一个可变形部分可由柔性材料例如橡胶制成，并且其中该致动器装置可以是可在该材料内延伸的可延伸梁。另外，该至少一个可变形部分优选地仅由具有一个或多个孔的柔性材料制成。

该可延伸梁优选地由这样的材料制成，该材料的伸长、缩短和/或弯曲均可由所施加的电流控制，该可延伸梁例如由智能材料制成。

根据本发明的优选实施例，该致动器装置可以是被动的，即，该致动器装置由于叶片的运动而实现形状改变，所述运动优选地是叶片的扭转、

弯曲和/或旋转。叶片的运动通常由作用在叶片上的风力引起。

在许多尤其优选的实施例中，该基本不可变形部分可以是叶片的中央部分，该一个或多个可变形部分可以是前缘区域和/或后缘区域。该基本不可变形的部分可以非常有利地是叶片的载荷支承部分。

本发明的另一方面涉及一种控制风轮机的工作条件的方法，该风轮机包括一个或多个叶片，每个叶片均具有一个或多个可变形的翼面部分，所述工作条件优选地是叶片上的载荷、风轮机产生的功率、空气引起的噪声、风轮机的稳定性和/或类似物。该方法优选地包括控制该可变形翼面部分的形状的步骤，其中形状的改变优选地不会在翼面部分的表面中引入不连续。

优选地，可变形翼面部分中的每一个或一些均具有一个或多个根据本发明的第一方面的特征。

风轮机优选地包括用于检测一个或多个工作条件的检测装置，其中所检测的工作条件可以输入计算机系统，该计算机系统具有根据所述输入确定在一些或全部可变形的翼面部分上将进行的形状变形的功能。

优选地，该检测装置可包括优选地设置在风轮机的一个或多个部件上的用于测量叶片流动压力、转子位置的装置和/或应变计、加速计等，所述部件通常且优选地为叶片、引擎舱和/或塔架。

将变形引入可变形翼面部分的典型时间尺度优选地并有利地小于转子旋转一次的时间，优选地小于转子旋转一次的时间的一半，例如小于转子旋转一次的时间的四分之一，例如小于叶片旋转 10° 例如 15° 所用的时间，其可应用于控制在塔架尾流通道内的变形。

另外，根据本发明的方法还可包括设定和/或改变每个叶片的全翼展倾角的步骤。

本发明的另一个方面涉及具有一个或多个根据本发明的风轮机叶片的风轮机。（本发明的）又一个方面涉及由根据本发明的方法控制的风轮机。

附图说明

在下文，将参照附图详细说明本发明，尤其是本发明的优选实施例，

在该附图内：

图 1 示出一翼面的简图，在该翼面的后缘设有可移动的 Gurney 褶翼；

图 2 示意性地示出具有和不具有前缘下垂的升力 - 迎角（可在例如[5]中发现与图 2 相对应的测量）；

图 3 示出具有和不具有后缘襟翼的升力 - 迎角（可在例如[5]内发现与图 3 相对应的测量）；

图 4 示出根据本发明的优选实施例的翼面的简图，该翼面具有连续的曲度和可变形的前缘和后缘区域；

图 5 示出根据本发明的优选实施例的翼面后缘区域的横截面视图；

图 6 示出根据本发明的优选实施例的翼面后缘区域的横截面视图；

图 7 示出根据本发明的优选实施例的翼面后缘区域的横截面视图；

图 8 示出根据本发明的优选实施例的翼面前缘区域的横截面视图；以及

图 9 示出根据本发明的优选实施例的翼面前缘区域的横截面视图：通过叶片偏转而对运动进行被动控制，小点划线示出在偏转情况下的后缘区域。箭头示出材料的剪切运动以及该后缘区域的相应运动。

具体实施方式

在图 4 内，示意性地示出具有两个可变形部分即可变形的前缘和后缘区域的翼面部分 1。翼面部分 1 的最初形状由实线表示，其中前缘区域 10 和后缘区域 12 没有变形，该翼面部分的变形的形状由虚线表示，其中前缘区域和后缘区域变形为由图 4 内的标号 10a 和 12a 指示的前缘区域和后缘区域。此外，翼面部分 1 包括不可变形的部分 14，该部分 14 设计成支撑由该翼面部分产生的载荷。如图 4 所示，该翼面部分 1 的变形不会给翼面部分 1 的外表面带来任何不连续，该外表面在变形期间和变形之后保持平滑。

该翼可具有在整个翼展上延伸的可变形部分，该部分可被认为是在整个翼上延伸的可变形部分，或者该翼可具有沿翼展在局部的可变形部分，

从而沿该翼展可设置多个可变形部分。此外，在一些区域内该翼可仅具有可变形的前缘区域或后缘区域。

在图 5 内示出翼面后缘区域 12 的横截面视图。同样，实线示出后缘区域 12 的原始形状，而虚线示出后缘区域的变形形状 12a。该可变形的后缘区域 12 由柔性材料制成，优选地由橡胶制成，其具有孔 20。该后缘区域 12 包括结构件 22，由智能材料制成的梁 24 连接在该结构件上。如图 5 所示，结构件 22 通过螺栓固定在该不可变形的部分 14 上，梁 24 沿翼面部分 1 的纵向从结构件 22 延伸到后缘区域 12 的后部驻点 26 附近。当通过向材料施加电压（如图 5 内由“+”“÷”表示）而向由智能材料制成的梁 24 通电时，该梁将根据电压的极化而向上或向下偏斜，从而导致该梁的初始形状（当没有向该梁施加电压时该后缘区域的形状）发生变形。

在图 6 内示出翼面后缘区域的横截面视图。在此实施例内，后缘区域 12 包括蒙皮 32，该蒙皮的强度足够大以抵抗周围的流体作用在该表面上的压力，以防止蒙皮因该压力而变形。蒙皮 32 由柔性材料（例如橡胶）制成，并且通过结构件 22 连接到不可变形部分 14。可增大或减小其纵向延伸长度的活塞组件 28 例如液压活塞装置可主动地控制后缘区域的运动，从而控制该后缘区域的变形。在接近翼面的上侧的位置或通常在翼面部分的翼弦线上方的位置处，活塞组件 28 在其一个末端处连接到与图 5 中所示的结构件类似的结构件 22。在另一个末端，活塞装置 28 连接到蒙皮 32 的下侧的内侧。在致动活塞装置 28 例如使活塞伸长或缩短时，该后缘区域将变形为变形形状，其中后缘区域向上或向下弯曲。图 6 中的 12a 表示两个这种形状。应指出，通过在靠近该翼面的下侧的位置或者通常在翼面的翼弦线下方使活塞组件 28 的其中一个末端连接到结构件 22，并在该翼面的上侧使其另一末端连接到蒙皮的内侧，可获得类似的乃至相同的结果。还应指出，活塞组件可由其它可纵向延伸的装置例如由智能材料制成的杆代替。

在图 7 内示出翼面后缘区域的横截面视图。该后缘区域包括蒙皮 32，该蒙皮与图 6 所示的实施例的蒙皮 32 类似。在蒙皮 32 内，由智能材料制成的板 30 位于翼面的上侧和/或下侧。通过向由智能材料制成的板 30 施加

电压，该板可主动地控制该后缘区域的运动。由智能材料制成的板 30 还可用作蒙皮 32 的加强件。

在图 8 内示出翼面前缘区域的横截面视图。该前缘区域的结构与图 7 中的后缘区域类似。因此，该前缘区域的蒙皮由橡胶或类似物制成，并且在该蒙皮内，可主动控制该前缘区域的运动的一个或多个由智能材料制成的板位于该翼面的上侧和/或下侧。

例如从图 8 可见，蒙皮 32 在位置 34a 和 34b（图 8）处通常通过粘结和螺栓连接的组合连接到结构件 22 上。结构件 22 在这些位置限定了邻接面，从而一旦蒙皮连接到该结构件上，则当沿周向观察时，从蒙皮 32 到不可变形部分 14 的外表面的过渡是平滑的。蒙皮与这些邻接面的连接使得在蒙皮 32 变形期间，蒙皮将以下面的方式继续邻接该接触面/邻接面，即，引入蒙皮的变形不会在蒙皮 32 连接到结构件 22 的位置附近在蒙皮内引入任何不平滑。

优选地限制智能材料的周向延伸，使得在蒙皮 32 连接到结构件 22 的位置附近不存在智能材料。此外，对于例如前缘和/或后缘区域的上侧和下侧，优选地使用由智能材料制成的单独的板 30，以便可彼此独立地控制翼面的上侧和下侧的变形。

智能材料如上文所述是指夹在或嵌在蒙皮内的材料板。但是，智能材料还可以是附置在蒙皮的内表面和/或外表面上的板材。在这两种情况下，智能材料均以这样的方式连接到蒙皮的材料/位于蒙皮的材料之内，即，在翼面的表面变形期间，智能材料和蒙皮的材料之间不会发生滑动。

可以设想，图 7 和 8 内所示的实施例可以不由在蒙皮内延伸的智能材料控制，而是与图 5 和 6 的实施例类似，设有由智能材料制成的梁或活塞。

为了提高例如可变形部分，如前缘区域和后缘区域的稳定性，位于由蒙皮 32 限定的可变形部分内的孔或孔 20 可用支承材料例如由塑料或橡胶制成的泡沫填充。这样，蒙皮吸收作用在其上的压力的能力会增大，同时允许由智能材料和/或活塞装置引入变形。

翼面的可变形部分的变形可通过使用这样的控制系统来控制，即，该

控制系统包括一计算机系统，该计算机系统接收设置在风轮机的部件上的传感器的输入，并响应于该输入向致动器例如智能材料 24 或活塞组件 28 提供控制信号以实现形状变形的效果。该效果优选地几乎立即使空气动力几乎瞬时改变。“瞬时”优选地是指在控制系统内没有故意地设置延时，并且实现变形时的延时是由例如材料的时间常数、传输延迟等造成的。

通过翼面流的仿真模型，可针对给定的入流条件（入流条件的含义优选地被认为是流入速度向量的幅值以及从流入速度向量到翼弦线的角度，该角度也被称为迎角，但是仿真模型有利地可使用其它量度）计算升力和阻力。对于具有可变几何形状的翼面，可针对从一个外部极限几何形状到相反的极限几何形状的几何形状变化当中的小的阶段（step），对相同入流条件下的升力和阻力进行同样的计算。接下来，可针对多种不同的入流条件进行计算，该多种不同的入流条件意味着多种不同的迎角。这样，可得到一个表，该表给出了针对不同迎角和几何形状变化的不同阶段的升力和阻力。

在操作中的风轮机的最终的控制回路内，控制系统将在各个时间步计算是否需要增大或减小空气动力载荷，并通过使用上述表来确定相应的几何形状变化。

参考文献

- [1] Mikhail, A.S. and Christensen, L.S. "The ZOND 550 kW Z-40 wind turbine development status and test results". In Proceedings of "Wind Energy 1995" held in Houston, Texas January 29 - February 1, 1995.
- [2] Miller, L.S., Migliore P.M. and Quandt, G.A. "An Evaluation of several wind turbine trailing-edge aerodynamic brakes". In Proceedings of "Wind Energy 1995" held in Houston, Texas January 29 - February 1, 1995.
- [3] Yen, D.T., van Dam, C.P., Smith, R.L., Collins, S.D., 'Active Load Control for Wind Turbine Blades Using MEM Translational Tabs', Proc.

2001 ASME Wind Energy Symposium, 39th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, 11-14 January 2001, p. 114-122.

[4] Levin, O., Shyy, W., 'Optimization of a Flexible Low Reynolds Number Airfoil', AIAA 2001-0125, 39th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, 8-11 January 2001, Reno, Nevada.

[5] Murri, D.G., Jordan, F.L, 'Wind-Tunnel Investigation of a Full-Scale General Aviation Airplane Equipped With an Advanced Natural Laminar Flow Wing', NASA Technical Paper 2772, November 1987

WO200198654-A1 "Wind turbine rotor blade includes flap comprising laminate(s) with layers of materials having differing expansion coefficients". LM Glasfiber A/S

US5224826-A "Piezoelectric helicopter blade flap actuator - with electrically deformable material mounted within aerofoil, cantilevered to spar to cause flap deflection". Massachusetts Inst. Of Technology.

WO0114740 "Modified wind turbine airfoil", Risø National Laboratory

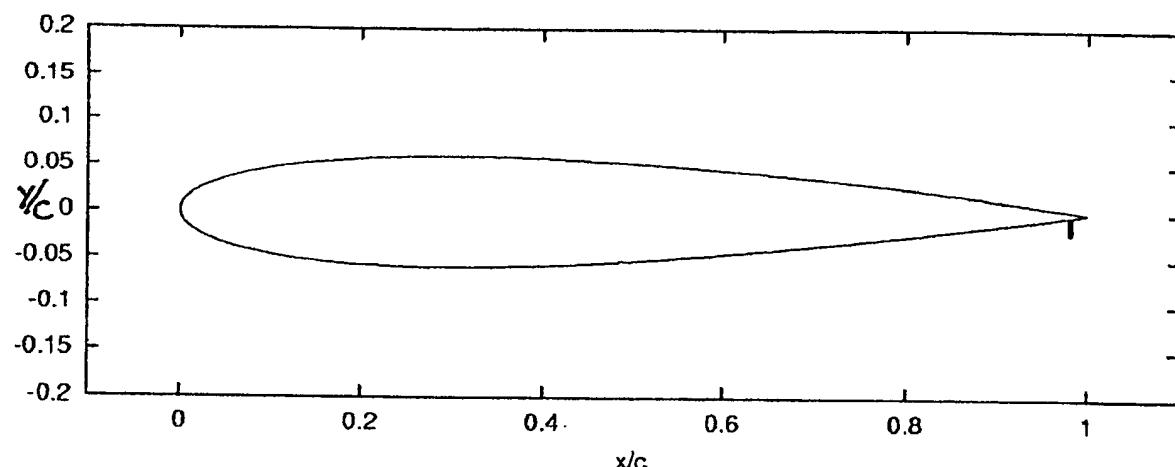


图 1

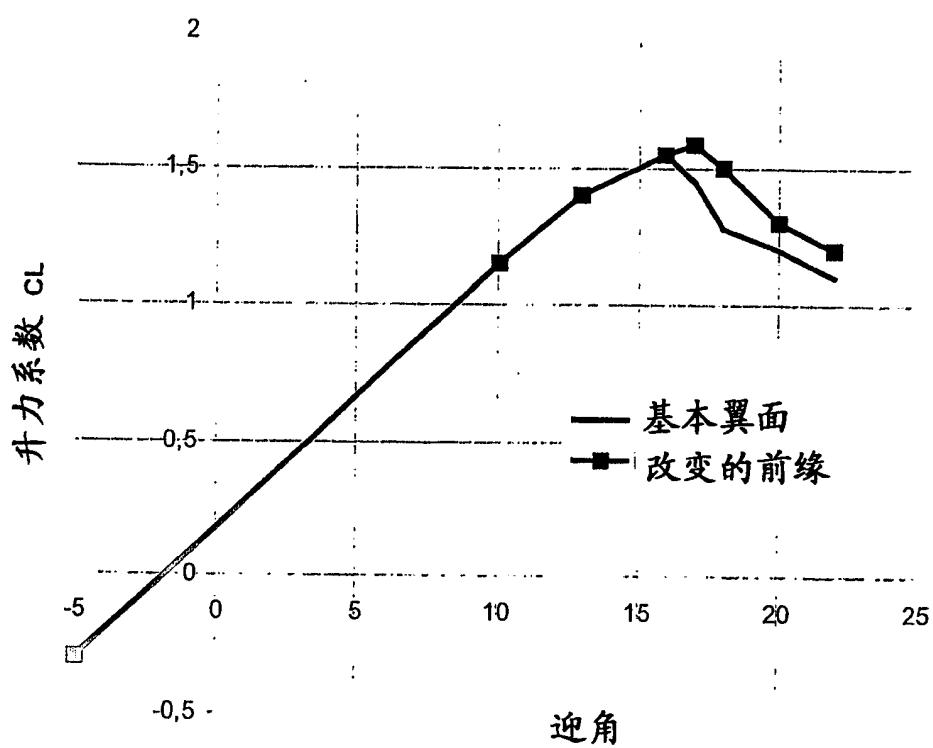
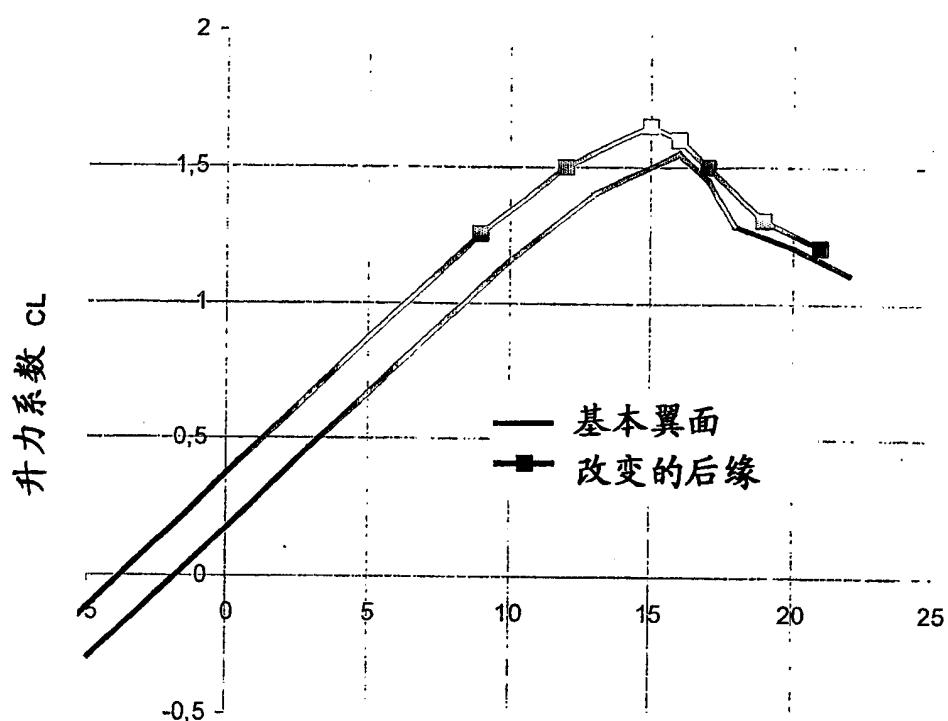


图 2



迎角

图 3

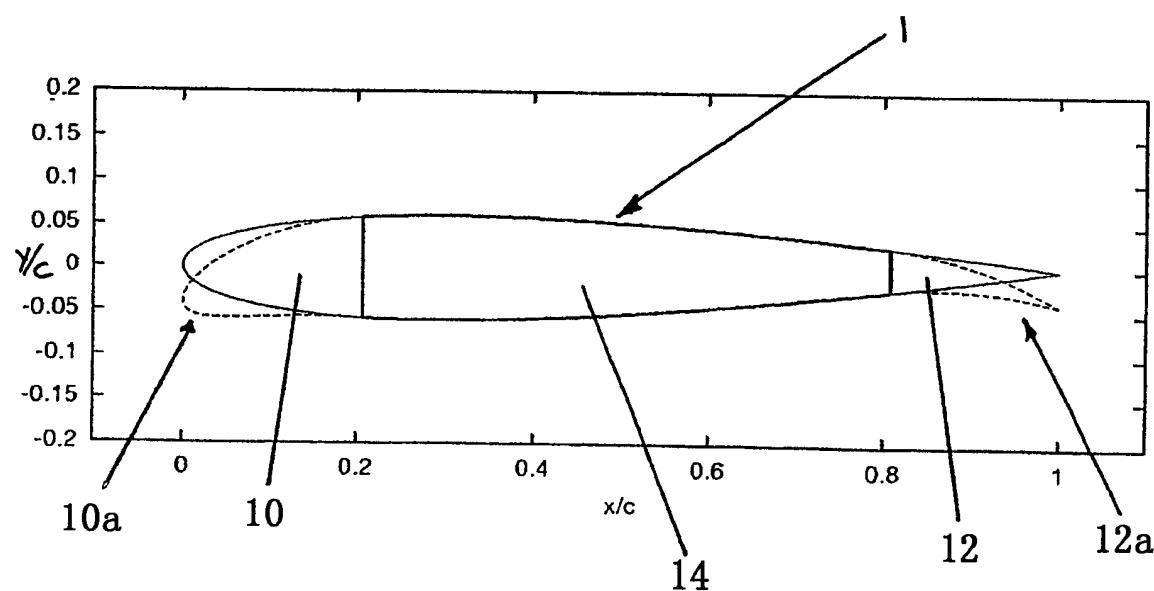


图 4

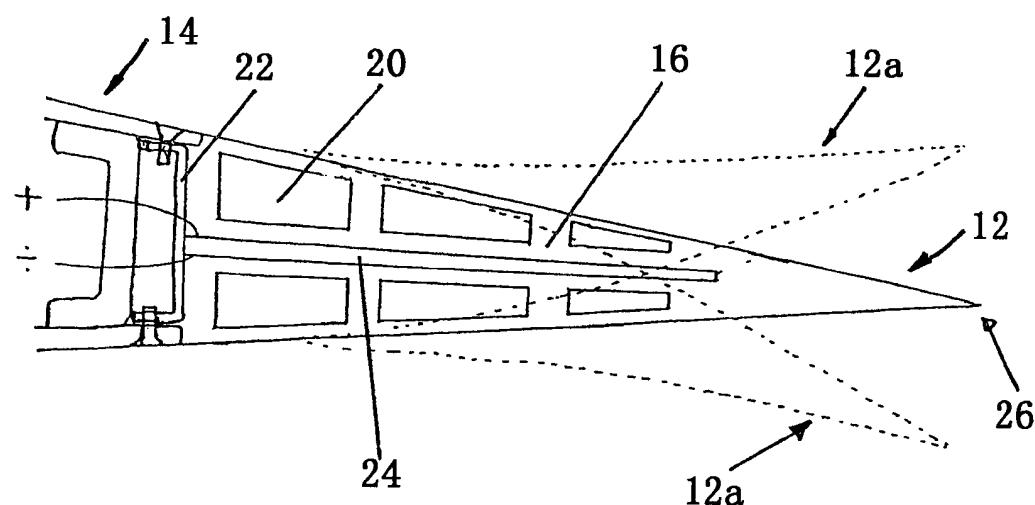


图 5

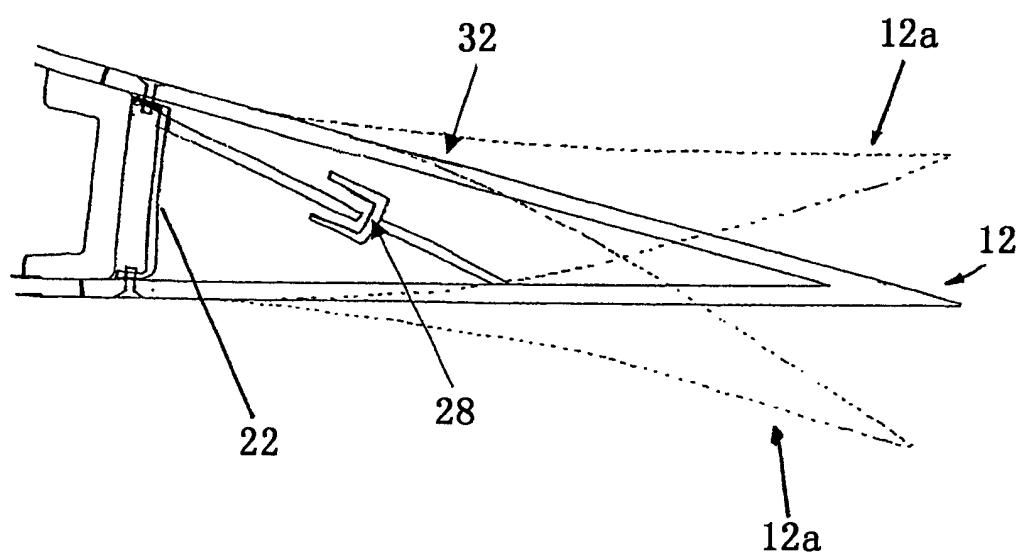


图 6

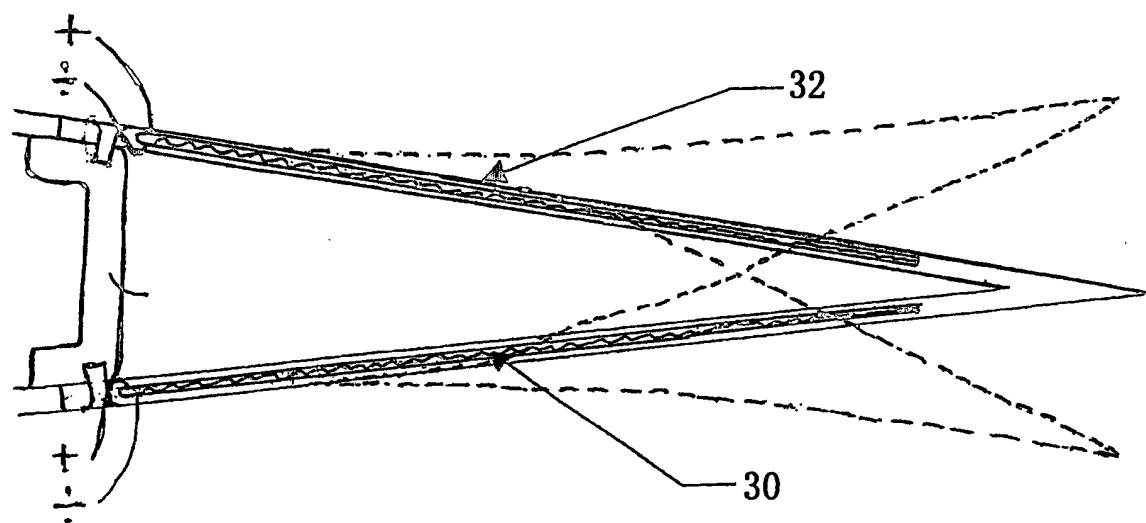


图 7

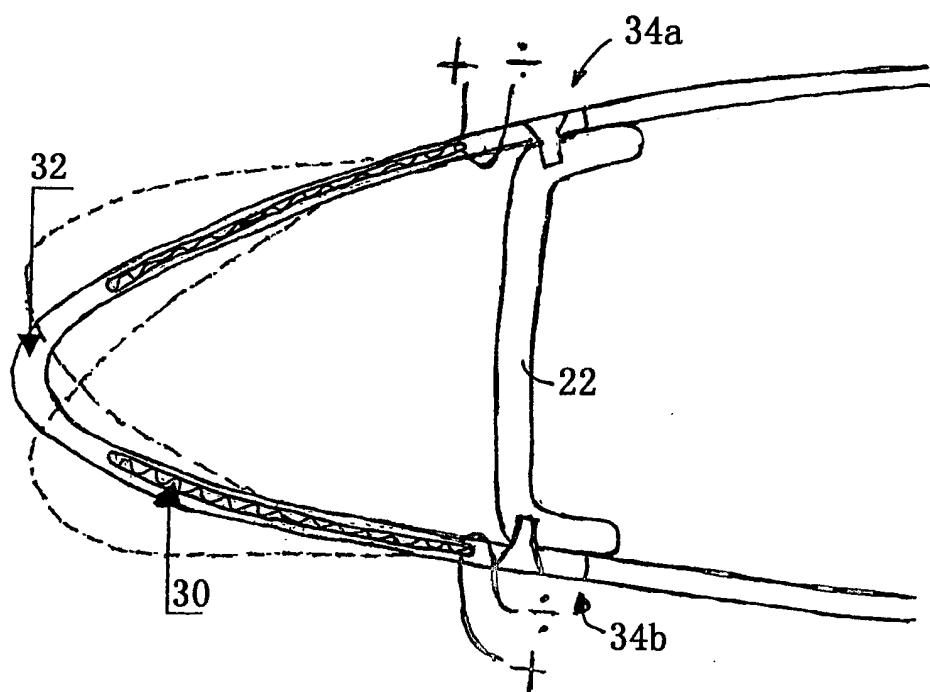


图 8

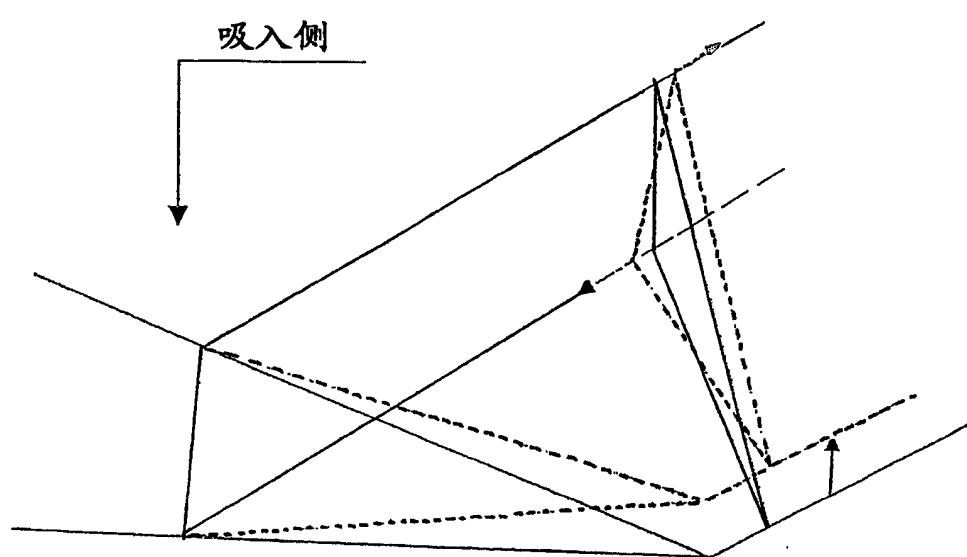


图 9