



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104040173 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 10

(21) 申请号 201280062404. 2

代理人 潘炜 田军锋

(22) 申请日 2012. 10. 17

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

F03D 11/00 (2006. 01)

61/548, 186 2011. 10. 17 US

61/589, 237 2012. 01. 20 US

13/400, 014 2012. 02. 17 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 06. 17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/060690 2012. 10. 17

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/059376 EN 2013. 04. 25

(71) 申请人 科哈纳技术有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 迈克尔·D·祖泰克 利·扎卢斯基

保罗·利斯

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

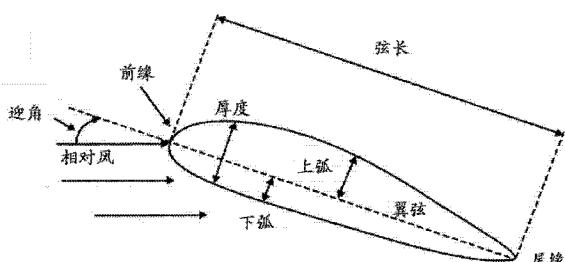
权利要求书4页 说明书34页 附图18页

(54) 发明名称

具有向前喷吹槽的涡轮机叶片和系统

(57) 摘要

一种用于风力涡轮机中的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧。压力侧和吸入侧在空气从前缘向尾缘、在压力侧和吸入侧上流动时向涡轮机叶片提供升力。叶片包括在吸入侧处的一个或更多个开口，在一些情况下，所述一个或更多个开口位于尾缘与前缘之间。所述一个或更多个开口构造成在一些情况下相对于从叶片的中心线朝向前缘定向的轴线以大约在 0° 与 70° 之间的角度朝向叶片的前缘提供加压的流体。



1. 一种用于风力涡轮机中的叶片，包括：

在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面，所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力；以及

在所述吸入侧处的一个或更多个开口，所述一个或更多个开口构造成相对于从所述叶片的中心线朝向所述前缘定向的轴线以大约在 0° 与 70° 之间的角度朝向所述叶片的所述前缘提供加压的流体。

2. 根据权利要求 1 所述的叶片，其中，所述一个或更多个开口构造成相对于所述轴线以大约在 0° 与 45° 之间的角度提供所述加压的流体。

3. 根据权利要求 1 所述的叶片，其中，所述一个或更多个开口以大约在 0° 与 25° 之间的角度导向。

4. 根据权利要求 1 所述的叶片，其中，一个或更多个向前喷吹槽设置在所述叶片的中线处或设置成邻近于所述叶片的所述中线。

5. 根据权利要求 1 所述的叶片，其中，一个或更多个向前喷吹槽设置在所述叶片的所述前缘处或设置成邻近于所述叶片的所述前缘。

6. 根据权利要求 1 所述的叶片，其中，一个或更多个向前喷吹槽设置在所述前缘与所述尾缘之间。

7. 根据权利要求 1 所述的叶片，其中，一个或更多个向前喷吹槽设置在所述尾缘处或设置成邻近于所述尾缘。

8. 一种用于风力涡轮机中的叶片，包括：

在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面，所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力；以及

在所述吸入侧处的一个或更多个向前喷吹槽，所述一个或更多个向前喷吹槽用于调节所述叶片的升力和阻力。

9. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述一个或更多个向前喷吹槽在所述吸入侧的表面中下凹。

10. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述一个或更多个向前喷吹槽位于所述吸入侧的表面处或所述吸入侧的所述表面上方。

11. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述叶片包括两个或更多个向前喷吹槽。

12. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述叶片包括三个或更多个向前喷吹槽。

13. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述叶片包括四个或更多个向前喷吹槽。

14. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述叶片包括五个或更多个向前喷吹槽。

15. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述叶片包括十个或更多个向前喷吹槽。

16. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述一个或更多个向前喷吹槽设置在所述尾缘处或设置成邻近于所述尾缘。

17. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述一个或更多个向前喷吹槽设置在所述叶片的中线处或设置成邻近于所述叶片的所述中线。

18. 根据权利要求 8 所述的叶片，其中，所述一个或更多个向前喷吹槽设置在所述前缘

处或设置成邻近于所述前缘。

19. 根据权利要求 8 所述的叶片,其中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在所述前缘与所述尾缘之间。

20. 一种用于风力涡轮机中的叶片,包括:

在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面,所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力;以及

在所述吸入侧处并且在所述前缘与所述尾缘之间的一个或更多个开口,所述一个或更多个开口构造成在所述吸入侧上并朝向所述叶片的所述前缘提供加压的流体,所述一个或更多个开口用于在所述叶片上引起流动分离。

21. 根据权利要求 20 所述的叶片,其中,所述一个或更多个开口位于所述叶片的翼面的尾部三分之一范围内。

22. 根据权利要求 20 所述的叶片,其中,所述一个或更多个开口位于所述叶片的翼面的中部三分之一范围内。

23. 根据权利要求 20 所述的叶片,其中,所述一个或更多个开口位于所述叶片的翼面的前部三分之一范围内。

24. 一种用于风力涡轮机中的叶片,包括:

a. 在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面,所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力;以及

b. 在所述吸入侧上的一个或更多个向前喷吹槽,所述一个或更多个向前喷吹槽用于针对载荷、功率和安全控制而减小升力和增加阻力。

25. 根据权利要求 24 所述的叶片,其中,所述向前喷吹槽位于所述叶片的翼面的尾部三分之一范围内。

26. 根据权利要求 24 所述的叶片,其中,所述向前喷吹槽位于所述叶片的翼面的中部三分之一范围内。

27. 根据权利要求 24 所述的叶片,其中,所述向前喷吹槽位于所述叶片的翼面的前部三分之一范围内,用以产生使转子停止的最大效果。

28. 一种用于风力涡轮机中的叶片,包括:

在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面,所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力;

在所述吸入侧上的向前喷吹槽,所述向前喷吹槽用于在所述风力涡轮机的操作期间朝向所述叶片的前缘提供加压的流体,所述向前喷吹槽与所述叶片内的一个或更多个腔体流体连通,用以将所述加压的流体输送至所述向前喷吹槽;以及

回流阀,所述回流阀位于所述一个或更多个腔体与所述向前喷吹槽之间的流体流动路径中,所述回流阀用于调控离心地诱发的流体从所述叶片的外部的位置至所述一个或更多个腔体中的流动。

29. 根据权利要求 28 所述的叶片,其中,所述回流阀包括沿着所述叶片的翼展方向定

向的阀卡。

30. 根据权利要求 28 所述的叶片,其中,所述回流阀包括覆盖所述向前喷吹槽的出口的向前面向的波状的外部闭合翻板。

31. 根据权利要求 28 所述的叶片,还包括多个枢转百叶窗,所述多个枢转百叶窗遵循翼面的轮廓并且防止回流。

32. 根据权利要求 28 所述的叶片,其中,所述回流阀是防止回流的单向翻板阀。

33. 根据权利要求 28 所述的叶片,其中,所述回流阀是用于防止回流的枢转板式阀。

34. 根据权利要求 28 所述的叶片,其中,所述回流阀包括用于防止回流的另一枢转板式阀。

35. 一种用于控制风力涡轮机的方法,包括:

(i) 提供操作性地联接至所述风力涡轮机的转子的叶片,所述叶片包括:

(a) 在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面,所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力;以及

(b) 位于所述叶片的所述吸入侧上的一个或更多个向前喷吹槽,所述一个或更多个向前喷吹槽用于在所述风力涡轮机的操作期间朝向所述叶片的前缘提供加压的流体,所述一个或更多个向前喷吹槽与所述叶片中的一个或更多个腔体流体连通,用以将加压的流体输送至所述一个或更多个向前喷吹槽;

(ii) 给流体加压;

(iii) 将所加压的流体导向至所述一个或更多个腔体;以及

(iv) 将所加压的流体从所述一个或更多个腔体导向至所述一个或更多个向前喷吹槽,从而控制所述风力涡轮机。

36. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,控制所述风力涡轮机包括针对载荷、功率和安全控制而减小升力和增大阻力。

37. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,控制所述风力涡轮机包括在所述叶片的翼面上引起流动分离。

38. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,所述风力涡轮机在不需要叶片俯仰的情况下受到控制。

39. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,通过机械叶片俯仰和向前喷吹槽的组合来控制所述风力涡轮机。

40. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,所述一个或更多个向前喷吹槽包括多个向前喷吹槽。

41. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,控制所述风力涡轮机包括分别地控制在所述叶片的翼面的向前部分中的附加的转子停止导管和向前喷吹槽。

42. 根据权利要求 35 所述的方法,其中,所述加压的流体从所述一个或更多个腔体导向至所述一个或更多个向前喷吹槽,以通过来自所述叶片内的离心抽吸作用而使所述风力涡轮机的转子停止。

43. 根据权利要求 35 所述的方法,还包括通过离心抽吸压力使所述吸入侧处的空气流速平衡来调控进入所述一个或更多个腔体中的回流。

44. 根据权利要求 35 所述的方法,所述加压的流体由所述叶片的旋转独自产生的离心抽吸作用来提供。

45. 根据权利要求 35 所述的方法,所述加压的流体的流动借助于所述叶片的根部处的一个或更多个阀来调控。

46. 一种用于控制风力涡轮机的方法,包括 :

(i) 提供操作性地联接至所述风力涡轮机的转子的叶片,所述叶片包括 :

(a) 在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,所述压力侧具有压力侧表面而所述吸入侧具有吸入侧表面,所述压力侧表面和所述吸入侧表面用于在空气从所述前缘至所述尾缘、在所述压力侧表面和所述吸入侧表面上流动时向所述叶片提供升力;以及

(b) 一个或更多个向前喷吹槽,所述一个或更多个向前喷吹槽用于在所述风力涡轮机的操作期间朝向所述叶片的前缘提供加压的流体,所述一个或更多个向前喷吹槽与所述叶片中的一个或更多个腔体流体连通,用于将加压的流体输送至所述一个或更多个向前喷吹槽;以及

(ii) 克服离心抽吸压力来平衡吸入侧空气流速,从而使通过所述一个或更多个向前喷吹槽的回流最小化。

47. 根据权利要求 46 所述的方法,其中,所述一个或更多个向前喷吹槽突出至所述吸入侧表面的上方。

48. 一种用于操作风力涡轮机的方法,包括 :

提供一个或更多个叶片,所述一个或更多个叶片中的各个叶片如权利要求 1 至 34 中的任一项所述;以及

借助于联接至所述一个或更多个叶片的涡轮发电机来发电。

具有向前喷吹槽的涡轮机叶片和系统

技术领域

[0001] 本发明在美国能源部门授权的 DE-AR0000022 下由政府支持而做出。该政府对该发明享有某些权利。

背景技术

[0002] 翼面（或翼型）是机翼或叶片或帆状物的横截面形状。在流体中运动的翼面成形体可以产生气动力。该力的垂直于运动方向的分量可以叫做升力。该力的平行于运动方向的分量可以叫做阻力。

[0003] 涡轮机是一种可以从流体流提取能量并将能量转化成功的旋转式发动机。涡轮机可以具有一个或更多个运动部件——包括旋转式组件，所述旋转式组件是具有叶片的轴或转鼓。

[0004] 风力涡轮机（或风力发电机）是可以将来自风或其他运动流体的动能转化成机械能的装置，该机械能随后可以用来发电。

发明内容

[0005] 存在有现有技术中可获得的用于从风发电的叶片和风力涡轮机。然而，这种叶片和风力涡轮机的局限性在于，在至少一些情况下，用于制造这种叶片的能力、资源和成本使得这种叶片用于商业用途是不切实际的。特别地，在某些情况下，用于制造风力涡轮机的成本超出了可以从它们的使用实现的任何成本效益。尽管空气污染的减少和温室气体的减少是个巨大的益处，然而如果用于制造叶片的成本不减少，那么其他的更常规的能源比如化石燃料燃烧会是更优选的。除了各种制造问题之外，至少一些现存风力涡轮机在机械结构上是复杂的并且需要日常维护和修理。特别地，某些风力涡轮机需要用于调节叶片响应于风速加速的速度的复杂的制动系统。这种制动系统制造和维护是昂贵的。

[0006] 鉴于与现存涡轮机叶片和系统相关联的各种局限性，本文中意识到对用于减少制造风力涡轮机（并且因而制造风力涡轮机的成本）所需要的资源的系统和方法的需要。也存在对更高效且在机械结构上更简单的风力涡轮机的需要，这能够有利地提供经改进的风力涡轮机输出和减少的操作和维护成本和费用。

[0007] 一些实施方式描述了下述叶片（例如，涡轮机叶片）：该叶片在机械结构上简单、高效、结构坚固、具有成本效益并且可控制成用于从流动流体比如周围环境风有效地提取能量。在一些情况下，这通过使用从叶片出来的气动喷吹增加或控制涡轮机叶片的空气动力学性能来实现，这可以产生力并且甚至在明显低的风速下提取能量。同时，喷吹叶片翼面结构坚固并且由这种叶片所产生的升力、阻力和扭矩可以相对独立于局部相对风向角，因而消除了叶片俯仰和俯仰控制机构的复杂问题。此外，本文中提供的装置在专门喷吹叶片上可以实现：明显高的升力；阻力根据需要的增加（制动）或减小（效率）；对这些叶片的空气动力学力矩的控制；防止在这些叶片上的流动分离（除将需要流动分离时，比如用于制动）；以及在不需要相对于到来的流的局部叶片迎角的任何物理变化的情况下执行所有

这些性能的能力。这些性能允许在较宽范围的风速和在叶片上的局部风流迎角下从周围环境风提取能量。例如,这通过位于单独的叶片翼面的任意端部上(前缘或尾缘)和翼面的任意一侧(压力侧或吸入侧)上的一个喷吹槽或多个切向喷吹槽来实现。除了很高的升力和减小的阻力并且因而高空气动力学升力/阻力比和效率之外,这些特征可以通过仅调节在这些槽处的叶片喷吹速率或喷吹压力而变化。本文中提供的叶片、系统和方法能够——如果不能消除的话——减小:对叶片扭角的需要;叶弦变化或局部平面图面积变化(逐渐减小);叶片拱度;以及叶片可变翼面几何形状,所有这些通常将沿着叶片翼展改变以解释在多个叶片径向位置处的不同的局部风速和风向角。在一些情形下,提供该类型的喷吹翼面的变化来解释各种局部条件。

[0008] 本文中描述了构造成与机械迎角变化无关地产生空气动力学升力的气动式叶片。在一些情况下,叶片构造成与风力涡轮机一起使用。在其他情况下,叶片构造成与直升机、飞机、机动车辆和使用空气动力学升力的其他装置或结构一起使用。这些气动式叶片也可以用来产生负升力(即,从叶片部段的压力侧向下的升力),以产生空气动力学制动力。在一些实施方式中,气动力在不需要机械叶片俯仰变化的情况下改变叶片部段特性的空气动力学性能,这能够在不需要任何机械叶片俯仰变化的情况下使涡轮机叶片空气动力学特征沿着转子叶片变化。

[0009] 在本发明的一方面中,一种用于风力涡轮机中的叶片包括:在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力;以及在吸入侧处的一个或更多个开口,所述一个或更多个开口构造成相对于从叶片的中心线朝向前缘定向的轴线——即从尾缘伸延至前缘的轴线——以大约在0°与70°之间的角度朝向叶片的前缘提供加压的流体,其中,从该轴线起的0°的角度代表朝向前缘的方向,90°的角度代表垂直于叶片的角度,而180°的角度代表朝向尾缘的方向。在实施方式中,一个或更多个开口构造成相对于轴线以大约在0°与45°之间的角度提供加压的流体。在另一实施方式中,一个或更多个开口以在大约0°与25°之间的角度导向。在另一实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在叶片的中线处或设置成邻近于叶片的中线。在另一实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在叶片的前缘处或设置成邻近于叶片的前缘。在另一实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在前缘与尾缘之间。在另一实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在尾缘处或设置成邻近于尾缘。

[0010] 在本发明的另一方面中,一种用于风力涡轮机中的叶片包括:在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力;以及在吸入侧的一个或更多个向前喷吹槽,所述一个或更多个向前喷吹槽用于调节叶片的升力和阻力。在实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽在吸入侧的表面中下凹。在另一实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在吸入侧的表面处或设置在吸入侧表面上方。在另一实施方式中,叶片包括两个或更多个向前喷吹槽。在另一实施方式中,叶片包括三个或更多个向前喷吹槽。在另一实施方式中,叶片包括四个或更多个向前喷吹槽。在另一实施方式中,叶片包括五个或更多个向前喷吹槽。在另一实施方式中,叶片包括十个或更多个向前喷吹槽。在另一实施方式中,所述一个或更多个向前喷吹槽设置在尾缘处或

设置成邻近于尾缘。在另一实施方式中，所述一个或更多个向前喷吹槽设置在叶片的中线处或设置成邻近于叶片的中线。在另一实施方式中，所述一个或更多个向前喷吹槽设置在前缘处或设置成邻近于前缘。在另一实施方式中，所述一个或更多个向前喷吹槽设置在前缘与尾缘之间。

[0011] 在本发明的另一方面中，一种用于风力涡轮机中的叶片包括：在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力；以及在吸入侧处和前缘与尾缘之间的一个或更多个开口，所述一个或更多个开口构造成为在吸入侧上、朝向叶片的前缘提供加压的流体，所述一个或更多个开口用于在叶片上引起流动分离。在实施方式中，一个或更多个开口位于叶片的翼面的尾部三分之一范围内。在另一实施方式中，一个或更多个开口位于叶片的翼面的中部三分之一范围内。在另一实施方式中，一个或更多个开口位于叶片的翼面的前部三分之一范围内。

[0012] 在本发明的另一方面中，一种用于风力涡轮机中的叶片包括：(a) 在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力；以及 (b) 在吸入侧上的一个或更多个向前喷吹槽，所述一个或更多个向前喷吹槽用于针对载荷、功率和安全控制而减小升力和增大阻力。在实施方式中，向前喷吹槽位于叶片的翼面的尾部三分之一范围内。在另一实施方式中，向前喷吹槽位于叶片的翼面的中部三分之一范围内。在另一实施方式中，向前喷吹槽位于叶片的翼面的前部三分之一范围内用以产生使转子停止的最大效果。

[0013] 在本发明的另一方面中，一种用于风力涡轮机中的叶片包括：在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力；在吸入侧上的向前喷吹槽，该向前喷吹槽用于在风力涡轮机的操作期间朝向叶片的前缘提供加压的流体，该向前喷吹槽与叶片内的一个或更多个腔体流体连通，用以将加压的流体输送至向前喷吹槽；以及回流阀，该回流阀位于一个或更多个腔体与向前喷吹槽之间的流体流动路径中，回流阀用于调控离心地诱发的流体从叶片外部的位置进入一个或更多个腔体中的流动。在实施方式中，回流阀包括沿着叶片的翼展方向定向的阀卡。在另一实施方式中，回流阀包括覆盖向前喷吹槽的出口的面向前部的波状的外部闭合翻板。在另一实施方式中，叶片还包括遵循翼面轮廓且防止回流的多个枢转百叶窗。在另一实施方式中，回流阀是防止回流的单向翻板式阀。在另一实施方式中，回流阀是用于防止回流的枢转板式阀。在另一实施方式中，回流阀包括用于防止回流的另一枢转板式阀。

[0014] 在本发明的另一方面中，一种用于控制风力涡轮机的方法包括提供操作性地联接至风力涡轮机的转子毂（本文中也叫“毂”）的叶片，该叶片包括：(a) 在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力；以及 (b) 一个或更多个向前喷吹槽，所述一个或更多个向前喷吹槽位于叶片的吸入侧上用于在风力涡轮机的操作期间朝向叶片的前缘提供加压的流体，所述一个或更多个向前喷吹槽与叶片内的一个或更多个腔体流体连通，用以将加压的流体输送至一个或更多个向前喷

吹槽。该方法还包括：提供加压的流体；以及将加压的流体导向至一个或更多个腔体。然后，加压的流体从一个或更多个腔体被导向至一个或更多个向前喷吹槽，从而控制风力涡轮机。在实施方式中，控制风力涡轮机包括针对载荷、功率和安全控制而减小升力和增大阻力。在另一实施方式中，控制风力涡轮机包括在叶片的翼面上引起流动分离。在另一实施方式中，风力涡轮机在不需要叶片俯仰的情况下受到控制。在另一实施方式中，由机械叶片俯仰和向前喷吹槽的组合来控制风力涡轮机。在另一实施方式中，一个或更多个向前喷吹槽包括多个向前喷吹槽。在另一实施方式中，控制风力涡轮机包括分别控制在叶片的翼面的向前部分中的附加的转子停止导管和向前喷吹槽。在另一实施方式中，加压的流体从一个或更多个腔体被导向至一个或更多个向前喷吹槽以通过来自叶片内的离心抽吸作用使风力涡轮机的转子停止。在另一实施方式中，该方法还包括通过利用离心抽吸压力使吸入侧的空气流速平衡来调控进入一个或更多个腔体中的回流。在另一实施方式中，加压的流体由叶片的旋转独自产生的离心抽吸作用来提供。在另一实施方式中，加压的流体的流动借助于叶片的根部处的一个或更多个阀来调控。

[0015] 在本发明的另一方面中，一种用于控制风力涡轮机的方法包括提供操作性地联接至风力涡轮机的毂的叶片，该叶片包括：(a) 在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力；以及 (b) 一个或更多个向前喷吹槽，所述一个或更多个向前喷吹槽用于在风力涡轮机的操作期间朝向叶片的前缘提供加压的流体，所述一个或更多个向前喷吹槽与叶片中的一个或更多个腔体流体连通，用以将加压的流体输送至一个或更多个向前喷吹槽。该方法还包括克服离心抽吸压力使吸入侧空气流速平衡，从而使通过一个或更多个向前喷吹槽的回流最小化。在实施方式中，一个或更多个向前喷吹槽突出至吸入侧表面的上方。

[0016] 在本发明的另一方面中，一种用于操作风力涡轮机的方法包括：提供一个或更多个叶片，所述一个或更多个叶片中的各个叶片如以上单独或组合描述的叶片中的任何一个叶片；以及借助于联接至一个或更多个叶片的涡轮发电机发电。

[0017] 在本发明的另一方面中，一种用于风力涡轮机中的叶片包括：在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力。该叶片包括用于朝向叶片的前缘提供流体的一个或更多个槽（本文中也叫做“向前喷吹槽”）。所述一个或更多个槽可以设置在叶片的吸入侧上。当通过一个或更多个向前喷吹槽应用加压的空气时，一个或更多个向前喷吹槽针对载荷、功率和安全控制减小升力和增大阻力。在实施方式中，向前喷吹槽位于叶片的翼面的尾部三分之一范围内。在另一实施方式中，向前喷吹槽位于叶片的翼面的中部三分之一范围内。在另一实施方式中，向前喷吹槽位于叶片的翼面的前部三分之一范围内，用以产生使转子停止的最大效果。

[0018] 在本发明的另一方面中，一种用于风力涡轮机中的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力。该叶片还包括在吸入侧上的向前喷吹槽，该向前喷吹槽用于在风力涡轮机的操作期间朝向叶片的前缘提供加压的流体，该向前喷吹槽与叶片中的一个或更多个腔体流体连通，用以

将加压的流体输送至向前喷吹槽。回流阀位于一个或更多个腔体与向前喷吹槽之间的流体流动路径中。回流阀用于调控离心地诱发的流体从叶片的外部的位置至一个或更多个腔体中的流动。在实施方式中，回流阀包括沿叶片的翼展方向定向的阀卡。在另一实施方式中，回流阀包括覆盖向前喷吹槽的出口的面向前部的波状的外部闭合翻板。在另一实施方式中，叶片还包括遵循翼面轮廓且防止回流的多个枢转百叶窗。在另一实施方式中，回流阀是防止回流的单向翻板阀。在另一实施方式中，回流阀是用于防止回流的枢转板式阀。在另一实施方式中，叶片包括用于防止回流的另一枢转板式阀。

[0019] 在本发明的另一方面中，一种用于控制风力涡轮机的方法包括提供操作性地联接至风力涡轮机的毂的叶片。该叶片可以经由紧固构件比如一个或更多个螺钉或紧固件附接至毂，或者可以与毂是整体的（或单件的）。叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力。该叶片包括一个或更多个向前喷吹槽，所述一个或更多个向前喷吹槽用于在风力涡轮机的操作期间朝向叶片的前缘提供加压的流体。所述一个或更多个向前喷吹槽与叶片中的一个或更多个腔体流体连通，用以将加压的流体输送至一个或更多个向前喷吹槽。接着，吸入侧空气流速克服离心抽吸压力被平衡，从而使通过一个或更多个向前喷吹槽的回流最小化。在实施方式中，一个或更多个向前喷吹槽突出至吸入侧表面的上方。

[0020] 在一些实施方式中，上述单独或组合的叶片是非空气动力学的。

[0021] 根据下面的详细描述，本公开内容的附加的方面和优点对本领域的普通技术人员将变得非常明显，其中，仅示出和描述了本公开内容的说明性实施方式。如将实现的，本公开内容能够是其他的不同的实施方式，并且本公开内容的若干细节能够在多个明显的方面进行修改，所有的修改都不背离本公开内容。相应地，附图和描述实际上将视为是说明性的而不视为限制性的。

[0022] 通过参引的并入

[0023] 在该说明书中提到的所有出版物、专利和专利申请以下述程度通过参引并入本文中：如同每个单独的出版物、专利或专利申请专门地且单独地表示为通过参引而被并入。

附图说明

[0024] 本发明的新颖特征特别在所附权利要求中被阐述。通过参照阐述说明性实施方式的下面的详细描述将获得本发明的特征和优点的较佳的理解，在说明性实施方式中运用了本发明的原理，并且该说明性实施方式的附图如下：

[0025] 图 1 示意性地示出了叶片翼面部段；

[0026] 图 2 示出了典型的叶片平面图；

[0027] 图 3 示出了根据本发明的实施方式的叶片平面图；

[0028] 图 4 示意性地示出了根据本发明的实施方式的具有多个翼面部段的叶片；

[0029] 图 5A 示意性地示出了根据本发明的实施方式的叶片；

[0030] 图 5B 示意性地示出了根据本发明的实施方式的叶片；

[0031] 图 6 示意性地示出了根据本发明的实施方式的具有多个喷吹通路的叶片；

[0032] 图 7 示意性地示出了根据本发明的实施方式的具有多个潜在翼面和多个喷吹槽

的叶片翼面部段；

[0033] 图 8 示意性地示出了构造成用于与风力涡轮机一起使用的槽式喷吹叶片部段；

[0034] 图 9 示意性地示出了根据本发明的实施方式的具有多个叶片的风力涡轮机，其中叶片具有喷吹槽和不具有喷吹槽；

[0035] 图 10 示意性地示出了根据本发明的实施方式的涡轮机系统；

[0036] 图 11 示出了具有翼展方向厚度轮廓的 40 米的叶片的示例；x 轴线指示沿着叶片的翼展位置，而 y 轴线指示在特定的翼展位置处的叶片的厚度（或翼弦）；

[0037] 图 12 示出了根据本发明的实施方式的具有向前喷吹槽的叶片；

[0038] 图 13 示出了在前缘与叶片的中线之间具有向前喷吹槽的叶片的流型态；

[0039] 图 14 示意性地示出了根据本发明的实施方式的具有向前喷吹槽的涡轮机叶片；

[0040] 图 15 是用于向前喷吹叶片、不喷吹叶片和向前喷吹（离心）叶片的涡轮机功率（千瓦，Kw）与风速（米 / 秒）的绘图；

[0041] 图 16 是根据本发明的实施方式的具有向前喷吹槽、供给增压室和阀卡的示意性侧部截面图；

[0042] 图 17 是根据本发明的实施方式的示出了可移除阀卡的叶片的示意性侧部截面图；

[0043] 图 18 是根据本发明的实施方式的用于叶片的回流阀的示意性侧部截面图；

[0044] 图 19 示意性地示出了根据本发明的实施方式的用于与向前喷吹槽一起使用的阀卡；

[0045] 图 20 示意性地示出了根据本发明的实施方式的具有双空气传送增压室的风力涡轮机叶片；

[0046] 图 21 是示出了喷吹响应（顶部）和俯仰系统（底部）的用于向前喷吹与俯仰控制的等同阶跃扰动的响应的绘图；

[0047] 图 22 是最优俯仰安排的绘图；

[0048] 图 23 示出了俯仰安排；以及

[0049] 图 24 示出了喷吹区域的径向控制。

具体实施方式

[0050] 尽管本文中已经示出和描述了本发明的各种实施方式，但是对本领域的普通技术人员将明显的是，这种实施方式仅通过示例的方式提供。在不背离本发明的情况下本领域的普通技术人员可以想到许多变体、改型和替代方案。应当理解的是，在实施本发明的过程中可以采用本文中描述的本发明的实施方式的各种替代实施方式。

[0051] 如本文中使用的术语“流体”指的是气体或液体。在一些实施方式中，流体是具有低粘度或明显较低粘度的气体或液体。流体可以例如包括空气、氧气、氢气、水蒸气、无机液体或有机液体，比如液态水、乙醇、乙醛或酮。流体具有多种流体属性，比如热容量、粘度、温度、压力和流速。

[0052] 如本文中使用的术语“升力”指的是空气动力学升力或液体动力学升力。升力是气动力的垂直于翼面或叶片部段的运动方向的分量。“无效升力”意指围绕翼面或叶片的流体流在分离流区域或失速流区域中运行。本文中提供的叶片和系统通过重新附接流域或引

起叶片部段以更有效的空气动力学方式运转来改进这种无效升力。在一些情形下,这通过如下方式来实现:使用气动装置和喷吹通路来重新附接分离流或失速流,或通过使用气动装置有效地消除对机械叶片迎角变化(俯仰)的需要。

[0053] 如本文中使用的术语“非空气动力学”指的是下述叶片或叶片部段:该叶片或叶片部段与具有产生改进的空气动力学性能的几何形状特征的可比较的叶片相比在结构上具有较少的空气动力学性能。在示例中,非空气动力学叶片具有根部/内侧部段(例如从根部测量的翼展的40%或50%),该根部/内侧部段具有变化了至多约5%的翼弦。这种叶片内侧部段在无效空气动力学流的区域中运行,该无效空气动力学流包括流动分离和/或失速流。这种叶片内侧部段的空气动力学性能——包括叶片内侧部段的实际(或有效)形状——借助于在叶片内侧部段中的一个或更多个气动喷吹槽来调节(例如,增加升力或者减小升力)。因而,这种非空气动力学叶片内侧部段的空气动力学性能可以借助于气动喷吹来改进。

[0054] 如本文中所使用的术语“阻力”指的是空气动力学力或流体动力学力的平行于翼面或叶片部段的运动方向的分量。

[0055] 本文中所使用的术语“叶片”指的是构造成当流体在叶片的表面上流动时产生升力。叶片可以具有压力侧、吸入侧、前缘和尾缘。压力侧和吸入侧用于通过流体(例如空气)在叶片上的流动而产生升力。在一些情况下,叶片用来向涡轮发电机提供机械运动。在该背景下,叶片可以称作“涡轮机叶片”。

[0056] 如本文中所使用的术语“翼面”(或“翼型”或“翼面部段”)指的是叶片的截面形状。叶片可以具有一个或更多个翼面。在示例中,叶片具有沿着叶片的翼展恒定的截面,并且该叶片具有一个翼面。在另一示例中,叶片具有沿着叶片的翼展变化的截面,并且叶片具有多个翼面。

[0057] 如本文中所使用的术语“平面图”指的是从由翼面位置和弦长所限定的上下角度观察到的叶片的形状。

[0058] 如本文中所使用的术语“通路”指的是构造成将流体从一个点导向另一个点的管道、通道或其他结构。流体流动通过呈各种流动构型例如湍流或层流的通路。通路通常与一个或更多个通路或孔口流体连通。

[0059] 如本文中所使用的“孔口”指的是构造成将流体从室或通路导向至外部环境或其他室或通路的孔或开口。孔口可以具有多种形状、尺寸和构型。在示例中,孔口是圆形的、卵形的、椭圆形的、三角形的、方形的、矩形的、五边形的、六边形的、七边形的、九边形的、十边形的或这些形状的局部区段(例如半圆形的、半矩形的)。在另一示例中,孔口是狭槽。“孔口”也可以称作“槽”。

[0060] 如本文中所使用的术语“向前喷吹槽”(以及本文中的“向前被喷吹槽”)指的是用于使加压的流体朝向叶片的前缘导向的通路或孔口。

[0061] 术语“反向喷吹槽”(以及本文中的“反向被喷吹的槽”)指的是用于使加压的流体朝向叶片的尾缘导向的通路或孔口。

[0062] 如本文中所使用的术语“喷吹”指的是通过与叶片的压力侧和/或吸入侧流体连通的一个或更多个孔口或开口应用加压的流体,比如加压的空气。在一些情况下,喷吹指的是通过孔口提供加压的流体和/或运动的流体比如加压的气体或液体的动作或过程。在示

例中,被喷吹的空气包括加压的空气。

[0063] 如本文中所使用的术语“翼展”指的是从叶片的根部朝向叶片的稍部的径向距离。

[0064] 如本文中所使用的术语“翼弦”指的是从叶片翼面部段的前缘至该叶片翼面部段的尾缘的距离。本文中所提供的叶片可以具有如沿叶片的翼展测量的恒定的翼弦。

[0065] 如本文中所使用的术语“吸入侧”指的是叶片的低压侧。本文中所使用的术语“压力侧”指的是叶片的高压侧。当空气或其他流体在叶片上流动时,在压力侧的流体压力通常会大于在吸入侧的流体压力。

[0066] 如本文中所使用的术语“前缘”指的是叶片的面向流体的流动方向的部分。

[0067] 如本文中所使用的术语“尾缘”指的是叶片的相对于叶片上的流体的流动方向面向(或定向)下游的部段。

[0068] 如本文中所使用的术语“涡轮机”指的是当使得与轮叶或叶片配合的轮子或转子毂(本文中也叫做“毂”)在流体流内旋转时能够发电的机器、装置或系统。构造成通过风进行发电的涡轮机在本文中被称作“风力涡轮机”。在一些情况下,涡轮机包括用于将机械能转化成电(或电力)的发电机,比如感应发电机。

[0069] 如本文中所使用的术语“俯仰”指的是相对于局部风流方向的叶片翼面部段迎角。在一些常规风力涡轮机上,机械地通过俯仰变化机构或者通过叶片扭转来使俯仰变化,这两者都可以用来改变叶片翼面部段的局部空气动力学特性以使叶片在空气动力学上更有效地运转。在一些实施方式中,局部叶片部段空气动力性的这种需要的变化在不需要任何机械俯仰机构或叶片扭转的情况下通过孔口喷吹气动地实现,从而实现与常规的风力涡轮机相同或更好的空气动力学效率。

[0070] 现存风力涡轮机遭遇许多特殊问题区域,这些问题区域会:限制他们的操作性风速的范围;使得机构复杂、笨重和高成本;以及限制实际上可以收集的电力的量。本文中提供的气动空气动力学叶片可以解决性能、机械和结构上的问题,并且在不需要使用俯仰且几何形状变化的叶片的情况下帮助解决与现存涡轮机叶片相关联的大多数问题——如果不能解决所有问题的话。俯仰机构仍然可以与气动控制系统结合使用。

[0071] 一些实施方式提供了用于产生空气动力学升力或流体动力学升力的叶片,该叶片在一些实施方式中用来向涡轮机提供机械运动。在一些情形下,叶片适于通过使用通过一个或更多个通路(或通道)且离开叶片中的一个或更多个孔口的空气的流动而变成具有较好的空气动力学性能。在一些实施方式中,本文中所提供的叶片例如通过使操作性地联接至涡轮发电机的涡轮机叶片产生升力而用来发电。在其他实施方式中,本文中所提供的叶片与用于产生升力(或减小阻力)的其他装置比如直升机、飞机、机动车、汽车、卡车拖车或其中需要空气动力学升力的其他装置或结构一起使用。在一些实施方式中,涡轮机叶片和系统在转子上使用气动或流体动力学喷吹翼面的能力以在不需要叶片俯仰变化(迎角)或叶片扭角变化、翼弦长度、面积或翼面几何形状以及局部转子叶片位置变化的情况下气动地改变所有空气动力学或流体动力学力和力矩(主要是升力、阻力和俯仰,但是如果需要和在需要时也包括侧向力、横滚和偏航)。这可以解释因叶片旋转、叶片翼展方向位置、局部流入角度、局部风速或超高风速所造成的所有局部流域特性的变化。

[0072] 本文意识到与用于与风力涡轮机一起使用的现存叶片相关联的各种局限性。图1示出了具有前缘、尾缘、吸入侧(顶部)和压力侧(底部)的叶片的截面图,如在目前可获

得的至少一些叶片中发现的那样。叶片具有弦长（在本文中也叫做“翼弦”）和翼展，翼展从叶片的根部测量至叶片的稍部，如沿着与纸面正交的轴线测量的那样。图 2 示出了代表至少一些现存叶片的平面图的叶片平面图。沿着翼展或径向（水平）轴线来测量沿着叶片从叶片的根部至叶片的稍部的位置（“站位”）。前缘位于平面图的顶部处，而尾缘位于平面图的底部处。在一些情况下，相对于水平轴线（“位置”）沿着竖向轴线来测量叶片的翼弦。例如，在自叶片的根部起大约 24 米（“m”）处，叶片具有大约 3m 的翼弦。叶片具有大约 50m 的长度。叶片的稍部略微修整；即，在叶片的稍部处，前缘和尾缘不交会。流体比如空气从前缘（图 2 中的顶部）至尾缘（图 2 中的底部）的流动在叶片上产生空气动力学升力。图 2 的叶片的在叶片根部处的翼弦为大约 3m。

[0073] 尽管在一些情况中图 1 和图 2 中的叶片构造成在一些情形下提供空气动力学升力，但是这种叶片制造和维护是昂贵的，从而导致增加的安装和 / 或维护成本。此外，操作这种叶片会需要复杂的制动系统和控制系统以使具有多个叶片的涡轮机能够旋转以及使具有多个叶片的涡轮机不能够旋转，并且以提供用于从风提取能量的最优叶片构型（例如，俯仰）。例如，为了减小或停止具有图 1 和图 2 的叶片的涡轮机的旋转，需要制动系统，从而导致系统的复杂性，这进而会导致增加的成本。

[0074] 此外，为了实现优选的效率，图 1 和图 2 的叶片在一些情况下需要使叶片的吸入侧上的流动分离最小化的结构特征。例如，叶片的根部 / 内侧部分包括扭角以实现根部部段空气动力学性能。然而，这种结构特征的制造是昂贵的，从而导致安装这种叶片的增加的成本。随着翼展增加，现存叶片的根部部分的增长的弦长将风力涡轮机叶片的现存的制造技术推向极限。

[0075] 本文中意识到对改进的叶片和涡轮机的需要，该改进的叶片和涡轮机相对于现存叶片和系统提供减小的成本和经提高的效率。

[0076] 一些实施方式描述了机械方面简单、高效、结构紧固、有成本效益且可控制的空气动力学涡轮机叶片以从涡轮机叶片上的流体比如风（例如空气）流提取能量。在一些实施方式中，这通过借助于通过叶片中的一个或更多个孔口的气动喷吹（“喷吹叶片”）的辅助增加或控制涡轮机叶片的空气动力学性能来实现，这可以甚至在适中风速、低风速或明显较低的风速下产生力并且提取能量。本文中提供的喷吹叶片在结构上是坚固的；由这种叶片所产生的升力、阻力和扭矩构造成与局部相对风向角相对无关，因而减小了——如果不能消除的话——叶片俯仰和俯仰控制机构的问题。本文中提供的喷吹叶片有利地能够使涡轮机叶片经济广泛的使用，这对目前可获得至少一些叶片是不可能的。这有利地减小了对作为能源的化石燃料的依赖性，这进而帮助减小污染（例如，SO₂、NO_x、烟雾和微粒物质）和与全球变暖相关联的各种问题。

[0077] 本发明的各种实施方式中描述的涡轮机叶片和装置实现了阻力调节和专门喷吹叶片上的明显较高升力，例如，增加阻力以影响制动或减小阻力以提高效率。此外，本文中提供的系统对叶片上的空气动力学力矩进行控制；防止叶片上的流动分离（除了当需要气流分离时，比如为了制动）；以及在不需要相对到来的流对局部叶片迎角的任何物理变化的情况下执行所有这些功能的能力。这些功能允许从在叶片上以较宽范围的流体流速和迎角流动的流体提取能量。在一些实施方式中，这借助于一个或更多个垂直的喷吹槽、切向喷吹槽或具有在相切于叶片表面的向量与正交于叶片表面的向量之间的出口角的喷吹槽

来实现。这种槽位于单独的叶片的任意端部上（即，根部或稍部）、翼面部段的任意端部上（即，前缘或尾缘）和叶片的任意一侧上（即，压力侧或吸入侧）。除了明显较高的升力和阻力减小——因而高空气动力学升力 / 阻力比和效率——之外，这些特征在一些情况下通过仅调节通过一个或更多个槽的叶片喷吹速率或喷吹压力来改变。这可以有利地消除：对叶片扭角的需要；叶片翼弦变化或局部平面图面积变化（逐渐减小）；叶片拱度；以及叶片可变翼面几何形状，对于传统叶片而言，这些参数中的一些或全部都可以沿着叶片翼展改变以解释在多个叶片径向位置处的不同的局部风速和风向角。

[0078] 叶片

[0079] 在本发明的一方面，与涡轮机比如风力涡轮机一起使用的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面构造成在空气从前缘向尾缘并且在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供空气动力学升力或流体动力学升力（“升力”）。压力侧和吸入侧从叶片根部部分延伸至叶片的稍部部分。

[0080] 在一些实施方式中，叶片的根部部分 / 内侧部分是大致非空气动力学的。即，由于叶片自由定位在流动流体（例如，空气）的路径中，因此根部部分 / 内侧部分在实施方式中不提供充分的空气动力学升力。在一些情况下，大致非空气动力学根部部分 / 内侧部分表明在叶片的根部部分 / 内侧部分上的气体的分离流。鉴于流动分离，减小了——如果不能消除的话——空气动力学升力。因而，当这种叶片放置在流动流体的路径中时，这种叶片一般不产生足以将机械运动传递至涡轮机的空气动力学升力。在一些实施方式中，叶片的空气动力学升力借助于叶片中的喷吹通路或孔口来改进（或增加）。即，导向流体通过叶片中的一个或更多个开口或孔口改进了其他非空气动力学叶片部分的空气动力学性能。具有这些喷吹部段，有效的叶片可以延伸至根部。

[0081] 在一些实施方式中，将一个或更多个喷吹通路设置在叶片的吸入侧、在叶片的根部部分或靠近叶片的根部部分处以及将一个或更多个喷吹通道设置在叶片的压力侧或吸入侧处、在叶片的稍部部分或靠近稍部部分处对具有非空气动力学根部部分的叶片提供充分的空气动力学控制。吸入侧喷吹槽和压力侧喷吹槽的结合意外地帮助改进其他非空气动力学叶片的空气动力学性能，同时消除了对复杂制动系统的需要，如在特定涡轮机中发现的那样。在一些情况下，对于具有空气动力学根部部分的叶片而言，喷吹槽的这种结构是多余的。

[0082] 实现非空气动力学根部部分的示例包括使平行于尾缘的前缘在叶片的位于或朝向叶片的根部部段的部分、比如叶片的从根部至相对于根部的预定长度的部分处。在叶片的该部分处，不存在叶片的表面的扭角。在一些情形下，从制造角度来看，这种叶片几何形状是优选的，这是由于具有这种非空气动力学根部部分的叶片相对较易于制造。借助于如本文中所描述的喷吹——如果不能消除的话——减轻了空气动力学效率的任何损失。同样地，尽管叶片的根部部分（或根部部段）的结构特征使得叶片的根部部分相对于其他叶片（比如，具有扭角的叶片）具有较少的空气动力学性能或是非空气动力学的，但是喷吹改进了根部部分的空气动力学性能，从而改进了叶片的有效的空气动学性能。

[0083] 在另一实施方式中，构造成用于使用在风力涡轮机中的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和

吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘并且在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力，在叶片的根部部分 / 内侧部分处的压力侧和吸入侧是大致非空气动力学的。叶片包括沿着叶片翼展方向定位的一个或更多个翼面。

[0084] 叶片还包括在压力侧和吸入侧中的一侧处的一个或更多个开口，所述一个或更多个开口用于向叶片提供空气动力学成形。在一些情况下，叶片还包括在压力侧和吸入侧中的另一侧处的一个或更多个开口，所述一个或更多个开口用于向叶片提供空气动力学成形。在吸入侧处的一个或更多个开口设置在叶片的前缘和 / 尾缘处或设置成靠近叶片的前缘和 / 或尾缘，或者设置在前缘与尾缘之间的位置处。在示例中，叶片包括邻近叶片的尾缘在吸入侧处的开口。相应地，如果叶片在压力侧处具有一个或更多个开口，则所述一个或更多个开口设置在叶片的前缘和 / 或尾缘处或设置成靠近叶片的前缘 / 尾缘。在示例中，叶片包括邻近叶片的尾缘在压力侧处的开口。

[0085] 在压力侧处的开口设置在压力侧的表面处或设置在叶片的前缘或尾缘处并且定向成使得加压的流体被提供至叶片的压力侧。相似地，在吸入侧处的开口设置在吸入侧的表面处或设置在前缘处、尾缘处或设置在叶片的前缘与尾缘之间并且定向成使得加压的流体被提供至叶片的吸入侧。

[0086] 在一些实施方式中，喷吹通路相对于叶片沿翼展方向定向。即，喷吹通路或多个喷吹通路定向成使得它们从叶片上的第一点朝向叶片的稍部部分或者根部部分伸延。在这种情况下，喷吹通路平行于叶片的前缘和 / 或尾缘，或者相对于前缘和 / 或尾缘成角度。在示例中，喷吹通路是从叶片的中点伸延至叶片的根部的长形槽。

[0087] 在一些情形下，叶片包括：吸入侧开口（例如，长形槽、狭缝），该吸入侧开口位于叶片的吸入侧处并且定向成平行于叶片的尾缘；以及压力侧开口（例如，长形槽、狭缝），该压力侧开口位于压力侧并且定向成平行于叶片的尾缘。在其他情形下，吸入侧开口和 / 或压力侧开口分别不平行于前缘和尾缘。例如，吸入侧开口相对于叶片的尾缘以大约在 5° 与 50° 之间的角度定向或以至少大约 5°、10°、15°、20°、25°、30°、35°、40°、45° 或 50° 的角度定向。作为另一示例，压力侧开口相对于叶片的尾缘以大约在 5° 与 50° 之间的角度定向或以至少大约 5°、10°、15°、20°、25°、30°、35°、40°、45° 或 50° 的角度定向（例如，参见图 5A 和图 5B）。吸入侧开口设置成朝向叶片的根部部段或设置在叶片的根部部段附近。压力侧开口设置成朝向叶片的稍部部段或设置在叶片的稍部部段附近。吸入侧开口用于朝向叶片的根部部段向一个或更多个翼面提供空气动力学成形。压力侧开口用于提供负叶片升力、增加的阻力和空气动力学制动力，比如靠近叶片稍部。在一些情形下，压力侧喷吹被排除并且空气动力学控制和制动仅借助于吸入侧喷吹来实现。

[0088] 在一些情形下，一个或更多个开口设置在叶片的前缘处，用于最小化——如果不能消除的话——前缘流动分离、层式前缘泡沫和 / 或在高的局部迎角处的叶片失速。在实施方式中，一个或更多个开口设置在叶片的吸入侧处。在另一实施方式中，一个或更多个开口设置在叶片的压力侧处。在一些情形下，如果一个或更多个开口包括狭缝，则狭缝通常定位成平行于叶片的前缘，尽管在一些情形下，狭缝相对于叶片的尾缘在大约 5° 与 50° 之间或以至少约 5°、10°、15°、20°、25°、30°、35°、40°、45° 或 50° 成角度。这些前缘喷吹槽也可以提供叶片俯仰力矩的控制。

[0089] 在一些实施方式中，吸入侧和 / 或压力侧喷吹用来引起或产生流动分离。在实施

方式中，喷吹槽或通路（例如，狭缝）以下述角度向叶片的吸入侧提供加压的空气（或其他空气）：该角度以垂直于叶片的吸入侧的表面的向量与平行于（相切于）叶片的吸入侧的表面的向量处或之间定向并且朝向叶片的前缘定向。在示例中，以下述角度向吸入侧提供加压的空气：该角度相对于平行于吸入侧的表面的向量处于大约 1° 与 90° 之间、 5° 与 85° 之间或至少为大约 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45° 、 50° 、 55° 、 60° 、 65° 、 70° 、 75° 、 80° 或 85° ；并且朝向前缘定向——即，加压的空气被朝向前缘喷吹。

[0090] 与图 1 和图 2 的叶片相比，本发明的一些实施方式中描述的叶片是花环空气动力学的。然而，喷吹通路或孔口（即，提供加压的流体比如加压的空气的通路或开口）向叶片提供虚拟成形，该虚拟成形提供从空气动力学性能角度来看被改进的叶片中的每个叶片的有效形状。

[0091] 本文中提供的叶片相对于某些现存叶片具有多种优点。在示例中，本文中所提供的叶片更易于制造和维护，从而导致减小的操作和维护成本。此外，改进这种叶片的空气动力学性能且能够进行制动的加压的空气的应用排除了对至少一些涡轮机中发现的机械部件比如制动系统的需要。

[0092] 本文中提供的叶片包括与叶片中的一个或更多个开口流体连通的至少一个通路。一个或更多个开口具有选自各种几何形状比如长形的或纵长形的（例如狭缝）、圆形的、三角形的、矩形的、五边形的或六边形的、或这些几何形状的部分变体（例如，半圆形的、半矩形的）的形状。在一些情况下，一个或更多个开口设置在叶片的多个位置处，比如设置在根部部分处、稍部部分处和 / 或位于根部部分与稍部部分之间的位置处的局部长度槽或全长槽。通过一个或更多个开口应用空气（或其他流体）向叶片提供虚拟成形，这在至少一些情况下改进了叶片的空气动力学性能。虚拟成形减小了叶片的吸入侧上的流动分离，从而引起经改进的空气动力学升力并且因此引起在一些情况下用来发电的经改进的机械运动。

[0093] 在一些实施方式中，叶片具有沿着叶片的翼展自根部（本文中也叫做“根部”）至预定位置的恒定的翼弦。图 3 示出了根据本发明的实施方式具有相对于图 2 的叶片翼弦减小的根部翼弦的叶片平面图的示例。图 3 是叶片的上下平面图。叶片的前缘位于图的顶部处，叶片的尾缘位于图的底部处，叶片的根部沿着水平轴线（“叶片站位”）位于 0m 处而稍部部分（本文中也叫做“稍部”）沿着水平轴线位于大约 50m 处。竖向轴线表示沿着叶片的翼弦的位置。叶片在根部处的翼弦为大约 2.4m–2.6m。图 3 的平面图具有大约 50m 的翼展。在一些实施方式中，叶片具有其他翼展，比如大约在 0.5m 与 100m 之间的翼展，或在大约 10m 与 60m 之间的翼展。在一些情况下，叶片具有达到且包括大约 1m、或 2m、或 3m、或 4m、或 5m、或 6m、或 7m、或 8m、或 9m、或 10m、或 20m、或 30m、或 40m、或 50m、或 60m、或 70m、或 80m、或 90m、或 100m、或 200m、或 300m、或 400m、或 500m 的翼展。

[0094] 图 3 的叶片具有大约在 10% 与 80% 之间、或大约 30% 与 70% 之间、或大约 55% 与 60% 之间的厚度与翼弦的比（比例）。在示例中，叶片的厚度是叶片的翼弦的大约 20%。叶片的翼弦在沿着具有叶片的翼展的水平轴线（即，从叶片的根部延伸至叶片的稍部的轴线）的任何位置处测量。在一些情况下，在根部部分处的叶片具有至少大约 45%、或 46%、或 47%、或 48%、或 49%、或 50%、或 51%、或 52%、或 53%、或 54%、或 55%、或 56%、或 57%、或 58%、或 59%、或 60%、或 61%、或 62%、或 63%、或 64%、或 65% 的厚度与翼弦的

比。在实施方式中，叶片针对叶片的靠近叶片的根部的预定部分具有恒定的厚度与翼弦的比。

[0095] 叶片的如自叶片的根部起至距离叶片的根部（叶片站位=0）大约 20m 或 21m（或大约 40% 翼展）所测得的翼弦大致是恒定的。即，自根部开始至距离根部大约 20m 或 21m（或大约 40% 翼展），翼弦变化了至多大约 5%。在其他情形下，自根部开始至距离根部大约 20m 或 21m，翼弦变化了至多大约 5%、4%、或 3%、或 2%、或 1%、或 0.5%、或 0.1%。在其他情况下，叶片的如从根部测量的任何预定部分具有大致恒定的翼弦。

[0096] 在一些实施方式中，叶片的从叶片根部至如从叶片的根部测量大约 1%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、或 50% 翼展所测量的翼弦大致是恒定的。从根部至大约 1%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、或 50% 翼展（如从根部所测量的），翼弦变化了至多大约 5%、4%、或 3%、或 2%、或 1%、或 0.5%、或 0.1%。在其它情形下，叶片的如从根部测量的任何预定部分具有大致恒定的翼弦。

[0097] 在一些情况下，如从叶片的根部测量的大约 20% 与大约 60% 之间的叶片前缘平行于尾缘。在其他情况下，达到且包括大约 40% 的前缘平行于尾缘。例如，前缘的如从叶片的根部测量的 20%、或 21%、或 22%、或 23%、或 24%、或 25%、或 26%、或 27%、或 28%、或 29%、或 30%、或 31%、或 32%、或 33%、或 34%、或 35%、或 36%、或 37%、或 38%、或 39%、或 40% 的部分平行于尾缘。

[0098] 在一些情形下，朝向叶片根部的叶片翼弦变化了至多大约 0.1%、或 0.5%、或 1%、或 2%、或 3%、或 4%、或 5%、或 6%、或 7%、或 8%、或 9%、或 10%。例如，图 3 的朝向叶片根部的叶片翼弦变化了至多大约 1%。

[0099] 图 4 示出了根据本发明的实施方式的叶片 400。叶片 400 包括定位在叶片的根部 409 与稍部 410 之间的多个翼面 401、402、403、404、405、406、407 和 408。叶片 400 包括具有吸入侧表面 412 的吸入侧 411 和具有压力侧表面的压力侧，该压力侧和压力侧表面设置成与吸入侧 411 和吸入侧表面 412 相反。叶片包括前缘 413 和尾缘 414。叶片可以包括翼梁帽（未示出），该翼梁帽向叶片 400 提供结构支撑。叶片 400 可安装在风力涡轮机上。在示例中，风力涡轮机包括与叶片 400 相似或相同的多个叶片。在一些情形下，风力涡轮机包括 2 个、或 3 个、或 4 个、或 5 个、或 6 个、或 7 个、或 8 个、或 9 个、或 10 个叶片。

[0100] 在示例中，叶片 400 包括两个翼梁帽（本文中也叫做“翼梁帽”），第一翼梁帽位于吸入侧表面 411 处，而第二翼梁帽位于压力侧表面处。在其他情形下，叶片 400 包括 2 个或更多个、或 3 个或更多个、或 4 个或更多个、或 5 个或更多个、或 6 个或更多个、或 8 个或更多个、或 9 个或更多个、或 10 个或更多个、或 20 个或更多个、或 30 个或更多个、或 40 个或更多个、或 50 个或更多个翼梁帽。在其他情形下，叶片 400 在没有任何翼梁帽的情况下由单件材料形成。

[0101] 在实施方式中，叶片 400 由选自下面的组的一种或更多种材料形成：聚合物材料、泡沫型材料、一个或更多个金属和一个或更多个非金属。在示例中，叶片 400 由具有树脂的玻璃纤维材料或具有树脂的碳纤维材料制成。

[0102] 图 5A 示意性地示出了根据本发明的实施方式的叶片 500。叶片 500 包括前缘 505、尾缘 510、根部部分 515 和稍部部分 520。叶片 500 的吸入侧 525 与叶片的压力侧（未示出）相对。叶片 500 在叶片 500 的吸入侧上包括开口 530，该开口 530 构造成流体比如

空气提供出口。如示出的开口 530 是从大约叶片 500 的中点朝向根部 515 延伸的槽。位于叶片 500 的翼展部段（或部分）535 处的前缘 505 和尾缘 510 彼此平行，该翼展部段（或部分）535 是叶片 500 的延伸离开根部部分 515 的部分。

[0103] 在一些情况下，叶片 500 包括在叶片的压力侧处的一个或更多个开口。在实施方式中，一个或更多个开口设置成朝向叶片的稍部 520。在其他情况下，开口 530 在根部 515 处或靠近根部 515 设置在尾缘 510 处。在一些情形下，叶片 500 包括在稍部 520 处或靠近稍部 520 在吸入侧 525 处的一个或更多个开口。

[0104] 图 5B 示出了根据本发明的实施方式的叶片 550。叶片 550 包括前缘 555、尾缘 560、根部部分 565 和稍部部分 570。叶片 550 的吸入侧 575 与叶片的压力侧（未示出）相对。叶片 550 包括大约从叶片 550 的中点朝向根部 565 延伸的开口 580。在叶片 550 的翼展部段（或部分）580 处的前缘 555 和尾缘 560 彼此平行。叶片 550 也包括多个开口 585 和 590，所述多个开口 585 和 590 用于将空气（或其他流体）导向至叶片 550 的与叶片 550 的吸入侧 575 和 / 或压力侧流体连通的一个或更多个开口——包括开口 580。在一些情形下，开口 580 延伸了开口 585 和 590 中的一个或更多个开口的长度。

[0105] 在一些情况下，叶片 550 包括在叶片的压力侧的一个或更多个开口。在实施方式中，一个或更多个开口设置成朝向叶片的稍部 520。在其他情况下，开口 580 在根部 565 处或靠近根部 565 设置在尾缘 560 处。在一些情形下，叶片 550 包括在稍部 570 处或靠近稍部 570 在吸入侧 575 处的一个或更多个开口。

[0106] 图 6 示意性地示出了根据本发明的实施方式的叶片 600。在一些情形下，叶片 600 具有与图 4 的叶片 400 相似或相同的特征。叶片 600 包括用于向叶片 600 提供结构支撑（或结构刚性）的多个翼面部段 601、602、603、604、605、606、607 和 608。

[0107] 在一些情况下，叶片 600 是大致非空气动力学的。即，当流体从像叶片 600 那样成形的叶片的前缘向尾缘并且在吸入侧和压力侧上流动时，独立式叶片本身不构造成产生足够的或最优的空气动力学升力（例如，借助于涡轮机用于发电所必须的升力）。这在过去至少是由于流动分离。然而，叶片 600 包括用于在叶片的压力侧和 / 或吸入侧提供流体（例如，加压的空气，该加压的空气在本文中也称作“喷吹空气”）的一个或更多个孔口，这减轻了——如果不能消除的话——流动分离。这进而消除了在叶片的吸入侧存在的任何分离。叶片 600 包括用于将流动流体比如喷吹空气导向至叶片的压力侧的压力侧喷吹孔口 609。此外，叶片 600 包括用于将流动流体导向至叶片的吸入侧的吸入侧喷吹孔口 610。

[0108] 压力侧喷吹孔口（在本文中也叫做“喷吹槽”）609 设置成邻近叶片 600 的稍部 611。喷吹孔口 610 设置成邻近叶片 600 的根部 612。槽 609 和 610 沿着叶片 600 的尾缘 613 定向。尾缘 613 与叶片 600 的前缘 614 相对。

[0109] 吸入侧喷吹孔口 610 包括邻近尾缘 613 设置的第一喷吹孔口和邻近叶片 600 的中央线设置的第二喷吹孔口。

[0110] 在一些情形下，叶片 600 在叶片 600 的前缘 614 处或靠近叶片 600 的前缘 614 包括喷吹孔口（即，“前缘喷吹孔口”）。在实施方式中，前缘喷吹孔口大体上平行于叶片 600 的前缘定向。在另一实施方式中，叶片 600 在叶片 600 的稍部 611 处或靠近叶片 600 的稍部 611 在中央线翼弦区域中包括喷吹槽。

[0111] 在一些实施方式中，压力侧喷吹孔口 609 定向成使得流动的流体（例如，喷吹空

气)相对于压力侧的邻近喷吹孔口 609 的表面以大约在 0° 与 180° 之间、或在 25° 与 135° 之间、或在 35° 与 125° 之间的角度被提供至叶片 600 的压力侧(未示出)。在一些情形下,喷吹空气以相对于压力侧的表面在大约 0° 与 90° 之间、或 0° 与 25° 之间的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向前缘 614 定向的轴线——通过压力侧喷吹孔口 609 提供。在示例中,喷吹空气以相对于压力侧的表面大约为 0° 、或 1° 、或 2° 、或 3° 、或 4° 、或 5° 、或 6° 、或 7° 、或 8° 、或 9° 、或 10° 、或 11° 、或 12° 、或 13° 、或 14° 、或 15° 、或 16° 、或 17° 、或 18° 、或 19° 、或 20° 、或 21° 、或 22° 、或 23° 、或 24° 、或 25° 、或 26° 、或 27° 、或 28° 、或 29° 、或 30° 、或 31° 、或 32° 、或 33° 、或 34° 、或 35° 、或 36° 、或 37° 、或 38° 、或 39° 、或 40° 、或 41° 、或 42° 、或 43° 、或 44° 、或 45° 、或 46° 、或 47° 、或 48° 、或 49° 、或 50° 、或 51° 、或 52° 、或 53° 、或 54° 、或 55° 、或 56° 、或 57° 、或 58° 、或 59° 、或 60° 、或 61° 、或 62° 、或 63° 、或 64° 、或 65° 、或 66° 、或 67° 、或 68° 、或 69° 、或 70° 、或 71° 、或 72° 、或 73° 、或 74° 、或 75° 、或 76° 、或 77° 、或 78° 、或 79° 、或 80° 、或 81° 、或 82° 、或 83° 、或 84° 、或 85° 、或 86° 、或 87° 、或 88° 、或 89° 、或 90° 的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向前缘 614 定向的轴线——通过压力侧喷吹孔口 609 来提供。在其他情形下,喷吹空气以相对于压力侧的表面大约 0° 与 90° 之间、或 0° 与 25° 之间的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向尾缘 613 定向的轴线——通过压力侧喷吹孔口 609 来提供。在示例中,喷吹空气以相对于压力侧的表面至少大约 0° 、或 1° 、或 2° 、或 3° 、或 4° 、或 5° 、或 6° 、或 7° 、或 8° 、或 9° 、或 10° 、或 11° 、或 12° 、或 13° 、或 14° 、或 15° 、或 16° 、或 17° 、或 18° 、或 19° 、或 20° 、或 21° 、或 22° 、或 23° 、或 24° 、或 25° 、或 26° 、或 27° 、或 28° 、或 29° 、或 30° 、或 31° 、或 32° 、或 33° 、或 34° 、或 35° 、或 36° 、或 37° 、或 38° 、或 39° 、或 40° 、或 41° 、或 42° 、或 43° 、或 44° 、或 45° 、或 46° 、或 47° 、或 48° 、或 49° 、或 50° 、或 51° 、或 52° 、或 53° 、或 54° 、或 55° 、或 56° 、或 57° 、或 58° 、或 59° 、或 60° 、或 61° 、或 62° 、或 63° 、或 64° 、或 65° 、或 66° 、或 67° 、或 68° 、或 69° 、或 70° 、或 71° 、或 72° 、或 73° 、或 74° 、或 75° 、或 76° 、或 77° 、或 78° 、或 79° 、或 80° 、或 81° 、或 82° 、或 83° 、或 84° 、或 85° 、或 86° 、或 87° 、或 88° 、或 89° 、或 90° 的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向尾缘 613 定向的轴线——通过压力侧喷吹孔口 609 来提供。在另一示例中,喷吹空气相对于压力侧的表面以大约 90° 的角度通过压力侧喷吹孔口 609 来提供。

[0112] 如所示的压力侧喷吹孔口 609 设置在叶片 600 的尾缘 613 处或靠近叶片 600 的尾缘 613。然而,在其他情况下,压力侧喷吹孔口 609 沿着压力侧且离开尾缘 613 设置。在示例中,压力侧喷吹孔口 609 沿着叶片 600 的压力侧设置在中途,比如沿着叶片 600 的翼弦设置在中途。替代性地,压力侧喷吹孔口 609 设置在叶片 600 的前缘 614 处或设置成靠近叶片 600 的前缘 614。在其他情形下,喷吹孔口 609 位于压力侧并且位于前缘 614 与尾缘 613 处或两者之间。在其他情况下,压力侧喷吹孔口设置在其尾缘 613 处并且位于叶片 600 的压力侧上的某一位置处。

[0113] 继续参照图 6,在一些情况下,吸入侧喷吹孔口 610 定向成相对于吸入侧的表面切向地提供流动流体。替代性地,吸入侧喷吹孔口 610 定向成使得流动流体比如喷吹空气相对于吸入侧的邻近吸入侧喷吹孔口 610 的表面且相对于尾缘以在大约 0° 与 90° 之间、或

大约 25° 与 75° 之间、或大约 35° 与 55° 之间的角度提供。在实施方式中，喷吹空气沿着下游方向平行于吸入侧（即，沿着空气从前缘向尾缘流动的方向）或垂直于吸入侧的表面来提供。在一些情形下，喷吹空气相对于吸入侧的表面以大约在 40° 与 45° 之间的角度来提供，如从朝向尾缘定向的轴线所测量的。

[0114] 在一些实施方式中，吸入侧喷吹孔口 610 定向成使得流动流体（例如，喷吹空气）相对于吸入侧的邻近吸入侧喷吹孔口 610 的表面以大约在 0° 与 180° 之间、或在 25° 与 135° 之间、或 35° 与 125° 之间的角度被提供至叶片 600 的吸入侧。在一些情形下，喷吹空气以相对于吸入侧的表面大约在 0° 与 90° 之间、或 0° 与 25° 之间的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向前缘 614 定向的轴线——通过吸入侧喷吹孔口 610 来提供。在示例中，喷吹空气以相对于吸入侧的表面大约为 0°、或 1°、或 2°、或 3°、或 4°、或 5°、或 6°、或 7°、或 8°、或 9°、或 10°、或 11°、或 12°、或 13°、或 14°、或 15°、或 16°、或 17°、或 18°、或 19°、或 20°、或 21°、或 22°、或 23°、或 24°、或 25°、或 26°、或 27°、或 28°、或 29°、或 30°、或 31°、或 32°、或 33°、或 34°、或 35°、或 36°、或 37°、或 38°、或 39°、或 40°、或 41°、或 42°、或 43°、或 44°、或 45°、或 46°、或 47°、或 48°、或 49°、或 50°、或 51°、或 52°、或 53°、或 54°、或 55°、或 56°、或 57°、或 58°、或 59°、或 60°、或 61°、或 62°、或 63°、或 64°、或 65°、或 66°、或 67°、或 68°、或 69°、或 70°、或 71°、或 72°、或 73°、或 74°、或 75°、或 76°、或 77°、或 78°、或 79°、或 80°、或 81°、或 82°、或 83°、或 84°、或 85°、或 86°、或 87°、或 88°、或 89°、或 90° 的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向前缘 614 定向的轴线——通过吸入侧喷吹孔口 610 来提供。在其他情形下，喷吹空气以相对于吸入侧的表面大约在 0° 与 90° 之间、或 0° 与 25° 之间的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向尾缘 613 定向的轴线——通过吸入侧喷吹孔口 610 来提供。在示例中，喷吹空气以相对于吸入侧的表面大约为 0°、或 1°、或 2°、或 3°、或 4°、或 5°、或 6°、或 7°、或 8°、或 9°、或 10°、或 11°、或 12°、或 13°、或 14°、或 15°、或 16°、或 17°、或 18°、或 19°、或 20°、或 21°、或 22°、或 23°、或 24°、或 25°、或 26°、或 27°、或 28°、或 29°、或 30°、或 31°、或 32°、或 33°、或 34°、或 35°、或 36°、或 37°、或 38°、或 39°、或 40°、或 41°、或 42°、或 43°、或 44°、或 45°、或 46°、或 47°、或 48°、或 49°、或 50°、或 51°、或 52°、或 53°、或 54°、或 55°、或 56°、或 57°、或 58°、或 59°、或 60°、或 61°、或 62°、或 63°、或 64°、或 65°、或 66°、或 67°、或 68°、或 69°、或 70°、或 71°、或 72°、或 73°、或 74°、或 75°、或 76°、或 77°、或 78°、或 79°、或 80°、或 81°、或 82°、或 83°、或 84°、或 85°、或 86°、或 87°、或 88°、或 89°、或 90° 的角度——相对于从叶片 600 的中央线朝向尾缘 613 定向的轴线——通过吸入侧喷吹孔口 610 来提供。

[0115] 吸入侧喷吹孔口 610 沿着叶片 600 的吸入侧设置。另外，吸入侧喷吹孔口 610 设置在叶片 600 的尾缘处或设置成靠近叶片 600 的尾缘。在其他情形下，吸入侧喷吹孔口 610 设置在叶片 600 的前缘处或设置成靠近叶片 600 的前缘。在一些情况下，吸入侧喷吹孔口设置在叶片 600 的尾缘处或设置成靠近叶片 600 的尾缘，并且另一吸入侧喷吹孔口在沿着叶片 600 的翼弦设置在某一位置处，比如沿着翼弦设置在半途。

[0116] 在一些实施方式中，叶片 600 包括 1 个或更多个、或 2 个或更多个、或 3 个或更多

个、或 4 个或更多个、或 5 个或更多个、或 6 个或更多个、或 7 个或更多个、或 8 个或更多个、或 9 个或更多个、或 10 个或更多个、或 20 个或更多个、或 30 个或更多个、或 40 个或更多个、或 50 个或更多个压力侧喷吹孔口 610。在其他实施方式中，叶片 600 包括 1 个或更多个、或 2 个或更多个、或 3 个或更多个、或 4 个或更多个、或 5 个或更多个、或 6 个或更多个、或 7 个或更多个、或 8 个或更多个、或 9 个或更多个、或 10 个或更多个、或 20 个或更多个、或 30 个或更多个、或 40 个或更多个、或 50 个或更多个压力侧喷吹孔口 609。压力侧喷吹孔口 609 与吸入侧喷吹孔口 610 结合使用或代替吸入侧喷吹孔口 610 使用。

[0117] 如所示，叶片 600 包括三个吸入侧孔口（其中，一个吸入侧孔口位于前缘处）和一个压力侧孔口。然而，在其他情况下，叶片包括任何数量的压力侧孔口和吸入侧孔口。在一些实施方式中，压力侧包括 1 个或更多个、或 2 个或更多个、或 3 个或更多个、或 4 个或更多个、或 5 个或更多个、或 10 个或更多个、或 20 个或更多个、或 50 个或更多个孔口，并且吸入侧包括 1 个或更多个、或 2 个或更多个、或 3 个或更多个、或 4 个或更多个、或 5 个或更多个、或 10 个或更多个、或 20 个或更多个、或 50 个或更多个孔口。在一些情形中，叶片 600 包括压力侧孔口或吸入侧孔口，但是不包括压力侧孔口和吸入侧孔口两者。在示例中，叶片 600 包括三个压力侧孔口和两个吸入侧孔口。在另一示例中，叶片包括两个压力侧孔口和一个吸入侧孔口。在一些情况下，孔口是槽或狭缝，比如长形开口（例如，长形的椭圆的或矩形的开口）。替代性地，孔口成形为圆形的、卵形的、三角形的、方形的、矩形的、五边形、或六边形或局部形状。

[0118] 压力侧孔口 609 设置成朝向叶片 600 的稍部 611。吸入侧孔口 610 设置成朝向叶片 600 的根部 612。压力侧孔口 609 设置成超过叶片 600 的翼展的中点 615。吸入侧孔口 610 设置在根部部分 612 与叶片 600 的中点 615 之间。

[0119] 压力侧孔口 609 和吸入侧孔口 610 是狭缝或纵向开口，在该狭缝或纵向开口中，开口中的每一个开口的一个尺寸比另一尺寸长。在一些情况下，翼展总是比开口中的每一个开口的高度大。替代性地，孔口中的每一个孔口是圆形的、三角形的、方形的、矩形的、五边形的、六边形的、七边形的、八边形的、九边形的、或十边形的形状或局部形状。此外，在一些情况下，孔口定尺寸为在压力侧和 / 或吸入侧上提供预定流量的喷吹空气（或其他流体）。在实施方式中，喷吹空气在大约 0.0001 大气压 (atm) 与 10atm 之间、或大约 0.01atm 与 1atm 之间的压力下提供。在另一实施方式中，喷吹空气在大约 0.01m³/s 与 10,000m³/s 之间、或在大约 0.1m³/s 与 100m³/s 之间的流动速率提供。在另一实施方式中，喷吹空气以大约在 -50°C 与 150°C 之间、或 0°C 与 120°C 之间的温度下提供。

[0120] 压力侧孔口 609 沿着叶片 600 的尾缘 613 延伸。吸入侧孔口 610 沿着叶片 600 的大致平行于尾缘的表面延伸。

[0121] 在一些实施方式中，叶片 600 在前缘 614 或邻近前缘 614 包括一个或更多个孔口（即，“前缘孔口”）。前缘孔口大致平行于前缘 614 定向。在一些情况中，前缘孔口与上述尾缘孔口结合使用或代替上述尾缘孔口使用。

[0122] 在一些实施方式中，前缘喷吹减小了在叶片的吸入侧处的流动分离。在这种情况下，切断前缘喷吹在高的局部迎角下会引起流动分离和叶片失速，这为具有叶片 600 的涡轮机提供了制动特征。

[0123] 在一些实施方式中，叶片 600 包括前缘喷吹和尾缘喷吹两者。在这种情况下，当前

缘喷吹停止且尾缘喷吹继续或增加时,前缘流动分离和阻力将增加,从而引起增加的(或更大的)空气动力学制动。

[0124] 在一些情况下,前缘喷吹和尾缘喷吹目前被用于叶片俯仰力矩最小化。在尾缘喷吹增加的情形下,前缘喷吹用来调节俯仰和保持俯仰力矩低——如果俯仰力矩不是零。在实施方式中,在尾缘 613 和前缘 614 处的可变喷吹用来通过增加槽推力恢复且因而增加用于较高叶片效率的转子扭矩而在旋转期间绕转子方位将叶片 600 的阻力系数变更至负值。在一些实施方式中,可变喷吹提供负阻力系数或正阻力系数(C_a)、正升力系数或负升力系数(C_l)和正俯仰力矩系数或负俯仰力矩系数(C_m)。在示例中,可变喷吹提供:在大约 0.01 与 0.4 之间、或 0.15 与 0.2 之间的阻力系数(C_a);大约在 -0.5 与 0.5 之间、或 -0.3 至 0.3 之间的升力系数(C_l);以及大约在 -0.1 与 0 之间、或 -0.09 与 -0.04 之间的俯仰力矩系数(C_m)。在一些情形下, C_l 和 C_a 彼此成反比例(即,随着 C_l 变小, C_a 变大,反之亦然)。

[0125] 在一些实施方式中,内侧(或根部)叶片部段喷吹改进了内侧叶片部段(靠近根部 612)的空气动力学性能,该内侧叶片部段否则是非空气动力学的或者例如因在局部速度下的流动分离而显示糟糕的空气动力学性能。在一些情形下,在内侧叶片部段处的喷吹将空气动力学载荷中的更多的载荷传递在内侧叶片上,因而卸载了外侧叶片部段和减小了在叶片结构上的根部弯曲力矩。在一些情形下,这有利地排除了对结构上刚性的材料的需要,这可以使叶片较轻。

[0126] 在一些实施方式中,叶片 600 包括一个或更多个腔体,所述一个或更多个腔体与流体控制系统流体连通,用以向一个或更多个腔体提供流体比如气体(例如,空气)。一个或更多个腔体与压力侧孔口 609 和吸入侧孔口 610 流体连通。在实施方式中,叶片 600 是中空的。在另一实施方式中,一个或更多个腔体通过中空叶片 600 中的一个或更多个隔离部限定。

[0127] 在一些实施方式中,叶片 600 包括横贯叶片 600 的长度的腔体(未示出)。在实施方式中,如从根部 612 测量的,腔体横贯叶片 600 的翼展的高达大约 5%、或 10%、或 15%、或 20%、或 25%、或 30%、或 35%、或 40%、或 45%、或 50%、或 55%、或 60%、或 65%、或 70%、或 75%、或 80%、或 85%、或 90%、或 95%、或 100%。在一些情形下,腔体横贯叶片的从根部 612 至稍部 611 的翼展。腔体具有朝向根部 612 的第一端部和朝向叶片 600 的稍部 611 的第二端部。

[0128] 在一些实施方式中,孔口 609 沿着其整个长度与腔体流体连通,使得空气或其他加压的流体在腔体内从第一端部朝向第二端部流动并且流出孔口 609 的整个长度。在其他实施方式中,孔口 609 被锁定。在这种情况下,在实施方式中,空气被泵送至腔体中使得在腔体内建立压力。然后,孔口被打开以允许空气流出孔口 609。然后,流出孔口 609 的空气沿着叶片 600 的表面被朝向叶片 600 的尾缘 613 导向。然而,流出孔口 609 的空气不限于沿着叶片 600 的表面朝向尾缘 613 导向;在一些情况下,空气沿着近乎任何方向被导出孔口 609 以便在需要时为叶片 600 提供虚拟成形。

[0129] 在一些情形下,孔口 610 与上述腔体或另一腔体流体连通用于向孔口 610 提供空气。在一些情形下,孔口 610 与腔体流体连通,腔体也与孔口 609 流体连通。以这种方式,腔体中的流体被导向同时通过孔口 609 和 610,或者孔口 609 和 610 独立地打开和关闭以独立地提供流出孔口的流体。例如,在一些情况下,需要提供流出孔口 609 而不是孔口 610 的

加压的流体。替代性地，孔口 610 与不同于上述腔体的腔体流体连通，这使得能够单独或独立地控制流出孔口 609 和 610 的流体。

[0130] 在实施方式中，空气流出孔口 609 和空气流出孔口 610 同步进行（例如，重叠的喷吹轮廓）。在另一实施方式中，空气流出孔口 609 与空气流出孔口 610 不同步（例如，非重叠喷吹轮廓）。

[0131] 孔口 609 和 610 与流体控制系统流体连通（参见下面）用以提供流出孔口 609 和 610 的流体比如加压的流体（例如，加压的空气）。在一些情形下，加压的流体以独立的方式通过孔口 609 和孔口 610 被提供。在实施方式中，这能够进行用于改进叶片的空气动力学性能的虚拟成形和用于减缓或停止具有叶片 600 的涡轮机的旋转的制动特征。在其他情形下，加压的流体同时通过孔口 609 和 610 来提供。

[0132] 在一些实施方式中，前缘喷吹和 / 或尾缘喷吹提供对具有这种前缘喷吹和 / 或尾缘喷吹的叶片的空气动力学形状和 / 或俯仰的调节。在一些实施方式中，借助于前缘喷吹和 / 或尾缘喷吹，操作性地联接至叶片的涡轮机的电力输出改进了至少大约 5%、或至少大约 10%、或至少大约 15%、或至少大约 20%、或至少大约 25%、或至少大约 30%、或至少大约 35%、或至少大约 40%、或至少大约 45%、或至少大约 50%、或至少大约 55%、或至少大约 60%、或至少大约 65%、或至少大约 70%、或至少大约 75%、或至少大约 85%、或至少大约 85%、或至少大约 90%、或至少大约 95%。

[0133] 在一些实施方式中，叶片包括在叶片的压力侧、叶片的吸入侧、叶片的尾缘和叶片的前缘中的一者或更多者处提供喷吹的一个或更多个孔口或通道。在叶片的尾缘或前缘处的喷吹包括导向在叶片的压力侧或叶片的吸入侧上方的位置处的流体、或在叶片的前缘和叶片的尾缘中的一者或两者处在压力侧与吸入侧之间的位置处的流体。

[0134] 在一些实施方式中，喷吹槽设置成相对于压力侧的邻近尾缘的表面以大约在 0° 与 180° 之间的角度沿着叶片的压力侧的方向导向在尾缘处的加压的流体。在一些情况下，喷吹槽设置成相对于吸入侧的邻近尾缘的表面以大约在 0° 与 180° 之间的角度沿着叶片的吸入侧的方向导向在尾缘处的加压的流体。在实施方式中，吸入侧喷吹设置在叶片的根部处或设置成邻近叶片的根部，而压力侧喷吹设置在叶片的稍部处或设置成邻接叶片的稍部。

[0135] 图 7 示出了根据本发明的实施方式的具有多个翼面的尾部叶片部段 700（比如图 6 的叶片 600）。叶片部段 700 包括压力侧 705、吸入侧 710、压力侧槽 715 和吸入侧槽 720。压力侧 705 包括压力侧表面 725，而吸入侧 710 包括吸入侧表面 730。槽用于向压力侧 705 和吸入侧 710 提供流体比如喷吹空气（例如，空气）或加压的流体。槽设置成邻近叶片 700 的尾缘。在一些情形下，槽设置在叶片 700 的尾缘处。在其他情形下，槽中的一个或更多个槽设置在距叶片的尾缘预定距离处，比如设置在距尾缘大约 0.01m 与 5m 之间。

[0136] 在一些情形下，叶片 700 包括在叶片 700 的吸入侧 710 处的一个或更多个槽，所述一个或更多个槽在中途沿叶片的翼弦向下并且朝向叶片的根部。在这种情况下，一个或更多个槽设置在叶片 700 的根部与翼展的中点（即，如从根部部分或者稍部部分测量的叶片的翼展的 50%）之间。在一些情况下，叶片 700 在叶片 700 的压力侧 705 处包括一个或更多个槽，所述一个或更多个槽沿着叶片 700 的翼弦设置在中途并且朝向叶片 700 的稍部。在这种情况下，一个或更多个槽设置在叶片 700 的稍部与翼展的中点之间。在一些实施方式

中,由于根部位置通过“R”表示(例如,图6的根部612),稍部位置通过“T”表示(例如,图6的稍部611)并且翼展的中点通过“M”表示(例如,图6的中点615)(所有的位置沿着具有叶片700的翼展的轴线获取),因此吸入侧槽关于“R”设置在(M-R)的大约0.1、或0.2、或0.3、或0.4、或0.5、或0.6、或0.7、或0.8、或0.9、或1.0的倍数处,而压力侧槽关于“T”设置在(T-M)的大约0.1、或0.2、或0.3、或0.4、或0.5、或0.6、或0.7、或0.8、或0.9、或1.0的倍数处。在其他实施方式中,吸入侧槽和/或压力侧槽关于“T”设置在(T-R)的大约0.1、或0.2、或0.3、或0.4、或0.5、或0.6、或0.7、或0.8、或0.9、或1.0的倍数处(即,如从稍部测量的)。在其他实施方式中,吸入侧槽和/或压力侧槽关于“R”设置在(T-R)的大约0.1、或0.2、或0.3、或0.4、或0.5、或0.6、或0.7、或0.8、或0.9、或1.0的倍数处(即,如从根部测量的)。

[0137] 在一些实施方式中,压力侧槽715在翼面中朝向叶片700的稍部(或外侧)部分设置,而吸入侧槽720朝向叶片700的内侧(或根部)部分设置。在实施方式中,这允许在涡轮机或具有叶片700的其他机械装置的操作期间叶片700的有效成形或空气动力学成形(包括叶片700的单独翼面)。喷吹槽715和720在一些情况下构造成提供流体以使流动分离在叶片的使用期间最小化或消除、提供流动分离(例如,以产生制动)和/或增加或减小流循环。

[0138] 继续参照图7,尾缘的邻近压力侧槽715的部分离开压力侧715朝向吸入侧710形成角度,而尾缘的邻接吸入侧槽720的部分离开吸入侧710朝向压力侧705形成角度。在一些情况下,尾缘的邻接根部部分的部分具有大约在0°与180°之间的曲率,而尾缘的邻近稍部部分的部分具有大约在0°与180°之间的曲率。在一些实施方式中,尾缘是圆的、圆柱形圆的、或椭圆的,或者包括拱形部、弯曲部、圆弧部或螺旋部。切向离开的喷射流将在至少一些情况下贴附至这些弯曲的表面。这在空气动力学上使流转向并且增大作用在叶片上的空气动力学力和力矩。

[0139] 在一些情形下,在尾缘喷吹槽的下游的翼面表面在吸入侧和压力侧中的任意一侧或两侧上弯曲或形成圆弧。来自喷吹槽的切向射流可以保持附贴至吸入侧和压力侧的这些表面并且根据需要增大或减小空气动力学升力、阻力和/或俯仰力矩。

[0140] 喷吹槽715和720与用于将流体导向至槽715和720的一个或更多个通路(或导管)流体连通。在一些情况下,槽715和720与叶片700中的室(或腔体)流体连通,叶片700中的室与流体控制系统流体连通用于将加压的流体提供至槽715和720。

[0141] 在一些实施方式中,在吸入侧710上的喷吹(在本文中也叫做“吸入侧喷吹”)具有增加翼面的升力并且因此增加叶片700的升力的效果,而在压力侧上的喷吹具有减小翼面的升力的效果。在实施方式中,压力侧喷吹——即向叶片700的压力侧705提供流体比如加压的空气——用来向叶片700提供制动特征,这在一些情形下排除了对附加的制动系统的需要,因而引起系统成本和维护成本的显著节省。

[0142] 在一些实施方式中,压力侧喷吹用来实现控制表面,该控制表面几乎完全通过喷吹致动,并且在一些情况下完全通过喷吹致动。这种控制表面被喷吹以减小升力并且与吸入侧喷吹相关联地用作叶片的控制系统。在一些实施方式中,控制表面(或控制部段)包括叶片的翼展的在大约5%与40%之间、或在大约10%与30%之间、或在大约15%与20%之间的跨度,集中在叶片的80%翼展部分——即,如从叶片的根部测量的叶片的翼展的

80%——附近。

[0143] 图8示出了根据本发明的实施方式的构造成与风力涡轮机一起使用的喷吹叶片的翼面800。翼面包括腹板801和用于对翼面提供结构支撑的翼梁帽802。翼面包括与孔口或槽804流体连通的腔体803，该孔口或槽804构造成将空气（或其他流体）导向至在翼面800的吸入侧806处的尾缘805。孔口804与吸入侧806流体连通。

[0144] 在一些情形下，孔口804是沿着具有翼面800的叶片的翼展的至少一部分伸延的槽。孔口804还朝向翼面800的前缘807设置以减小或消除因相对到来的流具有相对低的扭力的厚截面的翼面所造成的流动分离。

[0145] 在一些实施方式中，具有翼面800的叶片包括在翼面的压力侧处具有孔口的翼面（未示出）。在这种情况下，孔口构造成朝向翼面的尾缘向翼面的压力侧提供加压的空气。

[0146] 继续参照图8，在一些实施方式中，翼面800具有大约在1与6之间以及等同的升力与阻力比(L/Deq)或大约在1与200L/Deq之间的叶片升力系数(C1)。在实施方式中，C1与叶片迎角无关。在一些情形下，由于作为喷吹系数的 q , AC_1/C_i 大于1,或大于50,或大于100。

[0147] 在一些实施方式中，翼面800包括与具有翼面800的叶片的一个或更多个孔口流体连通的多个腔体。在实施方式中，腔体是流体室，该流体室与空气控制系统流体连通用以调控空气（或其他流体）向流体室和孔口的流动。在实施方式中，空气控制系统包括一个或更多个泵和阀（例如，节流阀）。在其他实施方式中，翼面800不具有任何腔体。在这种情况下，在实施方式中，孔口803经由设置在具有翼面的叶片中的一个或更多个流体通路与空气控制系统流体连通。

[0148] 涡轮机

[0149] 在本发明的另一方面，用于从风力发电的系统包括叶片，该叶片具有在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧，压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面，压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向翼面提供升力，叶片具有大致非空气动力学的根部部分。系统还包括用于向风力涡轮机的翼面提供空气动力学成形的控制系统。

[0150] 在一些实施方式中，非空气动力学或较少的空气动力学的根部/内侧部分——该根部/内侧部分在作为流动分离或失速流（参见上面）的无效的空气动力学流的区域中运行——具有用于在叶片上提供分离的空气（或其他流体）流的形状并且包括叶片的一个或更多个翼面。分离的流是空气（或其他流体）的高度分离的流。在这种情况下，通过控制系统所提供的空气动力学成形减小了在叶片上的空气流的分离。在一些情形下，这改进了叶片的空气动力学升力。当使该流重新附贴在喷吹翼面部段上时，提供了至少为1、或至少为5、或至少为10、或至少为15、或至少为20的升力系数。在示例中，提供了大约14.0的升力系数。

[0151] 图9示出了具有根据本发明的实施方式的第一叶片901、第二叶片902和第三叶片903的风力涡轮机900，每个叶片具有用于向在叶片的压力侧和吸入侧的开口或孔口（在本文中也叫做“喷吹孔口”）提供加压的流体的一个或更多个孔口（参见上面）。在一些情况下，加压的流体在使用期间向叶片901、902和903提供空气动力学成形，这使阻力最小化。此外，在一些情形下，加压的流体增加了阻力以提供制动功能，这减小或消除了叶片901、

902 和 903 绕风力涡轮机 900 的中央轴线的旋转。在一些情形下,载荷借助于控制系统绕每个叶片转移,用以向叶片中的一个或更多个孔口提供流体。在一些情况下,在较高的风力的情形下,减小了每个叶片的外侧部段中的载荷。

[0152] 继续参照图9,叶片 901、902 和 903 中的每个叶片具有非空气动力学或较少的空气动力学的根部部分(参见上面)。在没有通过喷吹孔口(本文中也叫做“喷吹”)施加加压的空气(或其他流体)的情况下,叶片 901、902 和 903 中的单独的叶片在叶片的外侧(或稍部)部分处(参见图9,左边)经受较大升力。例如,在没有喷吹的情况下,叶片 903 的升力轮廓使得升力在叶片的稍部处最大,并且随着从叶片 903 的稍部至叶片 903 的根部的距离增大而逐步地减小。然而,通过喷吹孔口施加加压的空气为叶片 901、902 和 903 提供有效成形,这改进了在叶片 901、902、903 中的每个叶片的内侧(或根部)部分处的空气动力学升力(参见图9,右边)。例如,在喷吹的情况下,叶片 903 的升力轮廓使得升力邻近叶片 903 的根部增大并且随着从叶片 903 的根部至叶片 903 的稍部的距离增大而逐渐地减小。另外,借助于喷吹,沿着每个叶片的升力在内侧(或朝向每个叶片的根部部分)转移以减小结构载荷。

[0153] 在一些实施方式中,风力涡轮机包括具有一个或更多个翼面的叶片,该叶片具有在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向翼面提供升力。风力涡轮机还包括气动控制系统,该气动控制系统与叶片流体连通用于调节叶片的一个或更多个翼面的有效俯仰。在实施方式中,气动控制系统与风力涡轮机的一个或更多个其他叶片流体连通。

[0154] 在实施方式中,气动控制系统构造成通过向叶片中的一个或更多个开口(参见上面)提供加压的流体比如加压的空气来调节叶片的升力。在一些情况下,气动控制系统构造成调节在叶片的根部部段处的翼面处的升力。

[0155] 在一些实施方式中,涡轮机包括电力发电机和操作性地联接至电力发电机的转子。电力发电机构造成在转子旋转时发电。在实施中,电力发电机是感应发电机,并且在电力发电机的转子旋转时产生电力。涡轮机还包括从根部向外径向延伸的多个叶片,多个叶片中的每个单独的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面上流动时向所述单独的叶片提供升力或负升力、阻力或负阻力以及正俯仰力矩或负俯仰力矩。多个叶片中的至少一个叶片包括:在压力侧表面上的第一开口,该第一开口用于向压力侧提供加压的空气;和/或在吸入侧表面上的第二开口,该第二开口用于向吸入侧提供加压的空气。

[0156] 在一些实施方式中,涡轮机包括两个叶片、三个叶片、四个叶片、五个叶片、六个叶片、七个叶片、八个叶片、九个叶片、十个叶片、二十个叶片或更多个叶片。在实施方式中,涡轮机是水平轴线涡轮机,在该水平轴线涡轮机中,转子和电力发电机水平地布置(即,正交于重力加速度矢量定向),或者涡轮机是竖向轴线涡轮机,在该竖向轴线涡轮机中,转子和电力发电机竖向地布置(即,沿着重力加速度矢量定向)。

[0157] 多个叶片中的至少一个叶片具有大致非空气动力学或较少的空气动力学的(参见上面)根部部分。在一些情形下,第一开口和第二开口设置在多个叶片中的至少一个叶

片的尾缘处或设置成邻近多个叶片中的至少一个叶片的尾缘。

[0158] 在一些实施方式中,涡轮机是风力涡轮机,该风力涡轮机构造成当空气在多个叶片上流动时发电。在其他实施方式中,涡轮机构造成当运动的液体在多个叶片上流动时发电。

[0159] 涡轮机还包括流体控制系统,该流体控制系统与第一开口和第二开口流体连通。流体控制系统构造成独立地向第一开口和第二开口提供加压的流体。在一些情况下,加压的流体向第一开口和第二开口中的每个开口的流动速率独立地选择成控制多个叶片中的至少一个叶片的空气动力学升力。

[0160] 例如,为了改进叶片的空气动力学性能,流体控制系统向吸入侧表面处的第二开口提供加压的流体(例如,加压的空气),同时减小或终止加压的流体向压力侧表面处的第一开口流动。为了减小叶片的旋转或使叶片停止,流体控制系统向第一开口提供加压的流体,同时减小或终止加压的流体向第二开口流动。在一些情况下,流体控制系统独立地改变加压的流体向第一开口和第二开口的流动速率以调控叶片的扭矩输出。

[0161] 在一些实施方式中,提供可变喷吹以在旋转期间绕转子方位更改多个叶片中的至少一个叶片的升力系数(C1)和阻力系数(Cd),这在一些情况下减小或消除了具有涡轮机的塔部结构上或附近的叶片尾流影响。在一些情形下,这也减小了塔部结构上的转子弯曲力矩。

[0162] 在实施方式中,出自多个叶片中的至少一个叶片的局部喷吹系数C_p的翼展方向变化(参见下面)根据需要在每个叶片站(或翼面)处产生叶片部段升力和阻力载荷的翼展方向分布。在一些情况中,C1处于大约0.001与0.50或更多之间、或至少为大约0.001、0.005、0.01、0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45或0.5。C_p在这种情况下被限定如下:

$$[0163] C_{\mu} = \frac{\dot{m}_{jet} U_{jet}}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} U_{\infty}^2 A} \quad \text{对不可压缩的 } 2d \text{ 情况来说,减小至} >$$

$$[0164] C_{\mu} = \frac{U_{jet}^2 h_{jet}}{\frac{1}{2} U_{\infty}^2 c}$$

[0165] 向前喷吹槽

[0166] 在本发明的另一方面,描述了具有向前喷吹槽的叶片。在一些实施方式中,构造为使用在风力涡轮机中的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力。在一些情况下,在叶片的根部部分处的压力侧和吸入侧是大致非空气动力学的。叶片还包括在吸入侧、前缘和/或尾缘处的一个或更多个开口,所述一个或更多个开口相对于从叶片的中央线朝向前缘定向的轴线以大约在0°与70°之间的角度导向。在一些实施方式中,叶片包括在吸入侧处、前缘处和/或

尾缘处的一个或更多个开口,所述一个或更多个开口构造成在吸入侧上、朝向叶片的前缘提供加压的流体。

[0167] 在实施方式中,所述一个或更多个开口相对于从叶片的中央线朝向前缘定向的轴线以大约在 0° 与 25° 之间、或 0° 与 15° 之间的角度定向。

[0168] 在一些实施方式中,用于风力涡轮机中的叶片包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力。在一些情况下,在叶片的根部部分处的压力侧和吸入侧是大致非空气动力学的。叶片还包括在吸入侧上的一个或更多个向前喷吹槽。一个或更多个向前喷吹槽构造成调节叶片的升力和阻力。

[0169] 在一些情况下,一个或更多个向前喷吹槽设置在尾缘处或设置成邻近尾缘。在其他情况下,一个或更多个向前喷吹槽设置在叶片的中线处或设置成邻近叶片的中线。在其他情况下,一个或更多个向前喷吹槽设置在前缘处或设置成邻近前缘。在其他情况下,一个或更多个向前喷吹槽在前缘和 / 或尾缘处或前缘与尾缘之间设置在多个位置处。该位置可以选择成为风力涡轮机提供期望的控制系统。

[0170] 在实施方式中,一个或更多个向前喷吹槽在吸入侧的表面中下凹。在另一实施方式中,一个或更多个向前喷吹槽位于吸入侧的表面处或位于吸入侧的表面上方。

[0171] 在一些实施方式中,叶片包括 2 个或更多个、3 个或更多个、4 个或更多个、5 个或更多个、6 个或更多个、7 个或更多个、8 个或更多个、9 个或更多个、10 个或更多个、20 个或更多个、30 个或更多个、40 个或更多个、50 个或更多个、100 个或更多个向前喷吹槽。

[0172] 在风力涡轮机(包括风力涡轮机翼面)的吸入侧(本文中也称为“低压侧”)上使用向前喷吹引起流动分离,从而减小升力和增大阻力。这可以用于电力、载荷和安全控制。向前喷吹的使用能够在不需要叶片俯仰的情况下控制风力涡轮机转子。在其他情况下,使用向前喷吹能够减小边界层中的能量或动量,从而驱动较早的失速和较高的阻力。向前喷吹能够将风量引入边界层(当空气在吸入侧流动时在吸入侧附近);从而驱动较早的失速、较大的失速分裂(stall wedge)和较高的阻力。

[0173] 在一些情形下,向前喷吹槽的位置可以选择成提供射流距离的弦向位置(即,垂直射流的有效位置),这可以基于喷吹压力(或流速)和风量来变化。射流距离的弦向位置在一些情况下随着迎角的增加而向前运动,以当需要用增加的风速驱动较低的电力时在较高的风速下提供较大的效果。

[0174] 向前喷吹槽可以将空气流分离驱动至翼面鼻部以提供低压(吸入)侧流动分离,这能够使转子在不需要叶片俯仰的情况下停止。在一些情况下,这提供用于风力涡轮机的制动特征,这有利地消除了对目前可获得的至少一些风力涡轮机中发现的机械制动装置的需要。

[0175] 在一些情形下,向前喷吹槽(用于提供向前喷吹射流)在吸入侧嵌入或凹入。喷吹槽在一些情况下不上升至原来的翼面轮廓上方。在其他情况下,喷吹槽设置在吸入侧的表面处。这有助于在不使用时减小阻力至最低程度和使升力与阻力的比(L/D_{eq})最大化。这种叶片可以包括用于大风量的多个转向百叶窗和用于在不使用时使阻力最小化的面向前的射流或百叶窗盖。

[0176] 在其他情形下,叶片包括沿着吸入侧的多个向前喷吹槽,这可以帮助优化俯仰控制。在示例中,叶片包括在叶片的尾缘处或邻近叶片的尾缘的第一向前喷吹槽和在叶片的中线(或中央线)处或邻近叶片的中线的第二向前喷吹槽。在一些情况下,叶片包括在叶片的前缘处或邻近叶片的前缘的第三向前喷吹槽。

[0177] 在一些实施方式中,向前喷吹结合本文中所描述的其他喷吹构型使用。在示例中,向前喷吹结合压力侧喷吹使用。在另一示例中,向前喷吹结合垂直于吸入侧或压力侧定位的槽使用。在另一示例中,向前喷吹结合尾缘喷吹使用。

[0178] 在一些情况下,向前喷吹射流靠近尾缘定位用于在额定涡轮机功率附近下使用,从而有助于在低于额定功率和高度线性控制时提供有限的流分布和优化 L/Deq。在其他情况下,向前喷吹射流靠近叶片的一个或更多个翼面的中线定位用于在高达截止速度的较高的风速(或速度)下的有力的升力控制和阻力产生,其中,具有较少的喷吹电力需要而不是较多的尾部定位的射流。在其他情况下,向前喷吹射流位于翼面的向前部段中(在前缘处或靠近前缘),用以在需要时在不需要用于操作条件控制的设计折中方案的情况下有助于使转子停止。在前缘处或靠近前缘的向前喷吹射流可以减小使转子停止所需要的时间。在其他情况下,叶片包括在叶片剪切腹板的前面的分离的紧急停止管道。

[0179] 图 12 示出了根据本发明的实施方式的具有向前喷吹槽的叶片。已经指示了叶片的压力侧、吸入侧和尾缘。向前喷吹槽是平行于尾缘伸延的狭缝。然而,其他形状和构型是可能的。在示例中,向前喷吹槽是圆形开口。向前喷吹槽沿前缘的方向导向加压的流体(例如空气)离开尾缘。

[0180] 向前喷吹槽相对于表面轴线(图 12,顶部左边)以大约在 0° 与 10° 之间的角度定向。表面轴线是在向前喷吹槽处或向前喷吹槽附近平行于吸入侧的表面的预定位置的轴线。表面轴线正交于表面法线。向前喷吹槽大体上相对于表面轴线以大约 0° 与 90° 之间、或 0° 与 45° 之间、或 0° 与 30° 之间的角度定向。在一些实施方式中,向前喷吹槽相对于表面轴线以至多大约 45° 、或 40° 、或 35° 、或 30° 、或 25° 、或 20° 、或 15° 、或 10° 、或 9° 、或 8° 、或 7° 、或 6° 、或 5° 、或 4° 、或 3° 、或 2° 、或 1° 的角度定向。向前喷吹槽与通路连通,该通路与气动控制系统流体连通,该气动控制系统构造成向向前喷吹槽提供加压的流体(例如,空气)并且使加压流体在吸入侧上朝向前缘流动。

[0181] 图 13 示出了在前缘(LE)与叶片的中线之间具有向前喷吹槽的叶片上的流动图案。向前喷吹在吸入侧具有有效的流动分离。大致从尾缘向前至叶片的大约四分之一翼弦使流动分离。相比进一步远离前缘(并且朝向尾缘)的向前面向的槽,在前缘处或靠近前缘的向前面向的槽可以进一步向前引起流动分离(即,朝向前缘)。

[0182] 在一些实施方式中,叶片包括用于提供制动的一个或更多个向前喷吹槽和用于改进叶片的有效的空气动力学形状的一个或更多个通路(如上述的,比如在图 6 的内容中)。在一些情况下,向前喷吹槽与其他槽构型的结合提供增加升力和减小升力的能力。

[0183] 涡轮机系统

[0184] 在本发明的另一方面,用于从风力发电的系统包括在尾缘和前缘处交汇的压力侧和吸入侧,压力侧具有压力侧表面而吸入侧具有吸入侧表面,压力侧表面和吸入侧表面用于在空气从前缘向尾缘、在压力侧表面和吸入侧表面上流动时向叶片提供升力,叶片具有大致非空气动力学的根部部分。非空气动力学的根部部分(参见上面)具有构造成在叶片

上提供分离的空气（或其他移动流体）流的形状。在一些实施方式中，该形状是如上文中所描述的那样。

[0185] 在一些实施方式中，系统还包括构造成向叶片提供空气动力学成形的控制系统。这允许在需要时调控叶片的有效形状，比如用以改进叶片的空气动力学升力或用以减小叶片的空气动力学升力，这在一些情况下用于制动。还通过因空气动力学成形而增加的叶片阻力来产生制动。在一些情况中，通过控制系统所提供的空气动力学成形减小了在叶片上的空气流的分离，这改进了叶片的空气动力学性能。

[0186] 在一些情况中，空气动力学成形将操作性地联接至叶片的涡轮机的电力输出提高了至少大约 5%、或至少大约 10%、或至少大约 15%、或至少大约 20%、或至少大约 25%、或至少大约 30%、或至少大约 35%、或至少大约 40%、或至少大约 45%、或至少大约 50%、或至少大约 55%、或至少大约 60%、或至少大约 65%、或至少大约 70%、或至少大约 75%、或至少大约 80%、或至少大约 85%、或至少大约 90%、或至少大约 95%。

[0187] 在一些实施方式中，用于向具有一个或更多个翼面的叶片提供空气动力学成形的系统包括气动控制系统，该气动控制系统具有通道，该通道与在具有非空气动力学的根部部分的叶片的吸入侧或压力侧的一个或更多个开口（“喷吹通路”）流体连通，气动控制系统用于向一个或更多个开口提供加压的空气。在一些情形下，如从叶片的根部测量的，一个或更多个开口设置在叶片的翼展的大约 50% 与 100% 之间。在实施方式中，一个或更多个开口设置在叶片的尾缘处和 / 或设置成靠近叶片的尾缘。该系统还包括以通信的方式联接至气动控制系统的控制器，该控制器具有用于调控加压的空气至一个或更多个开口的流动速率的计算机可执行的命令。在实施方式中，气动控制系统包括通道，该通道与叶片的压力侧中的朝向叶片的稍部的一个或更多个开口流体连通。

[0188] 在一些实施方式中，系统包括多个叶片，所述多个叶片中的至少一些叶片具有一个或更多个喷吹通路。在示例中，系统包括三个叶片，所述三个叶片绕中央轴线在角度上彼此分离了大约 120° 。三个叶片中的每个单独的叶片包括用于向单独的叶片提供空气动力学成形喷吹通路。然而，在一些情况下，叶片的子集包括喷吹通路，而叶片的剩余部分不包括喷吹通路。在这种情况下，俯仰控制系统设置成在不需要喷吹通路的情况下调控叶片的俯仰。气动控制系统设置成调控空气（或其他流体）至具有喷吹通路的叶片的流动，从而调控具有喷吹通路的叶片的空气动力学性能。

[0189] 在一些实施方式中，用于向叶片提供空气动力学成形的系统包括第一通道，该第一通道与叶片的压力侧或吸入侧中的第一开口流体连通，该叶片具有朝向叶片的根部部分的大致恒定的翼弦。系统还包括第二通道，该第二通道与叶片的压力侧或吸入侧中的第二开口流体连通。与第一通道和第二通道流体连通的流体控制系统向第一通道和第二通道提供加压的流体。在一些情况下，加压的流体至第一开口和第二开口中的每一开口的流动速率独立地选择成控制叶片的空气动力学升力。

[0190] 在实施方式中，第一开口设置在叶片的外侧部分处，而第二开口设置在叶片的内侧部分处。在示例中，第一开口设置在叶片的稍部部分处或设置成靠近叶片的稍部部分，而第二开口设置在叶片的根部部分处或设置成靠近叶片的根部部分。

[0191] 在一些情形中，第一通道和第二通道设置在叶片中。在这种情况下，第一通道和第二通道相对于叶片沿翼展方向定向——即沿着从叶片的根部至叶片的稍部定向的轴线。第

一通道和第二通道与第一开口和第二开口流体连通。在其他情形下，第一通道和第二通道与叶片中的一个或更多个腔体流体连通，所述一个或更多个腔体与第一开口和第二开口流体连通。

[0192] 如上所述，开口的各种构型是可能的。在示例中，第一开口处于叶片的根部部分处或叶片的稍部部分处或靠近叶片的根部部分处或叶片的稍部部分，而第二开口处于叶片的根部部分处或稍部部分处或靠近叶片的根部部分或稍部部分。在一些情况下，第一开口处于叶片的前缘或尾缘处或靠近叶片的前缘或尾缘，或处于叶片的前缘与尾缘之间的任何点处。在一些情况下，第二开口处于叶片的前缘或尾缘处或靠近叶片的前缘或尾缘，或处于叶片的前缘与尾缘之间的任何点处。在一些实施方式中，第一开口和 / 或第二开口为圆形的、卵形的、椭圆形的、三角形的、方形的或矩形的截面形状或局部形状。在示例中，第一开口是槽或狭缝。流体控制系统操作性地联接至第一通道和第二通道。在一些情形下，流体控制系统能够彼此独立地向第一通道和第二通道提供空气。这能够独立地控制空气流出第一开口和第二开口。

[0193] 在一些情况下，流体控制系统是用于将加压的空气提供至第一通道和第二通道的空气控制系统（或气动控制系统）。在其他情况下，流体控制系统构造成向第一开口和第二开口提供另一流体，比如惰性气体（例如，He、Ar、N₂）。

[0194] 在一些实施方式中，流体控制系统提供加压的流体（例如，空气）以控制或调控叶片的有效的空气动力学形状。借助于加压的流体，流体控制系统增加或减小在叶片的吸入侧上的空气流的分离。流体控制系统在一些情况下控制叶片的电力输出或扭转输出。在实施方式中，流体控制系统响应于可观察的比如已测量的风速、大气压力和 / 或大气温度控制电力或扭转输出。在一些情形下，流体控制系统构造成向第一通道和第二通道独立地提供加压的流体以控制叶片的有效的空气动力学形状。

[0195] 图 10 示出了根据本发明的实施方式的涡轮机系统 1000。该涡轮机系统 1000 包括风力涡轮机 1005，该风力涡轮机 1005 具有操作性地联接至电力发电机（未示出）的转子。转子包括附接至毂的多个叶片。多个叶片中的至少一个叶片包括一个或更多个喷吹通路，如上所述。系统 1000 包括流体控制系统 1010，该流体控制系统 1010 具有与一个或更多个喷吹通路流体连通的一个或更多个流体通路。系统 1000 还包括用于调控风力涡轮机 1005 的叶片的俯仰的俯仰控制系统 1015。在实施方式中，俯仰控制系统 1015 包括用于调节叶片的俯仰或叶片的有效形状的校准系数。然而，在一些实施方式中，如果借助于流体控制系统 1010 和喷吹通路调控叶片的俯仰，则俯仰控制系统 1015 被排除，如本文中所描述的。

[0196] 在实施方式中，流体控制系统 1010 是空气控制系统，该空气控制系统构造成向一个或更多个喷吹通路提供空气。在一些情形下，空气控制系统包括具有机器可读代码的计算机系统，以调控空气向系统 1000 的一个或更多个喷吹通路的流动。在一些情况下，空气控制系统被称作气动控制系统。

[0197] 流体控制系统 1010 构造成将加压的流体（例如，空气）导向至多个叶片中的至少一个叶片的一个或更多个喷吹通路。流体控制系统 1010 调节具有一个或更多个通路的多个叶片中的至少一个叶片的电力或扭矩输出。在一些情形下，流体控制系统 1010 将另一气体比如惰性气体（例如，Ar、He 或 N₂）导向至一个或更多个喷吹通路。在实施方式中，流体控制系统 1010 通过一个或更多个通道将预定压力下的加压的空气导向至一个或更多个喷

吹通路,或者导向至与喷吹通路流体连通的一个或更多个腔体。

[0198] 系统 1000 包括控制器 1020,该控制器 1020 以通信的方式联接至流体控制系统 1010。控制器 1020 收集操作数据并且将操作数据与预定操作规范进行比较。控制器致流动体控制系统 1010 以可变的空气流动速率将加压的空气迫压至喷吹通路中。在一些情况下,可变流动速率是基于操作数据与预定操作规范之间的比较。加压的空气的控制有助于控制从流动通过风力涡轮机的扫掠区域的风力提取电力。

[0199] 在一些情况下,控制器 1020 测量操作数据并且调节系统输入以在预定操作风力条件下调控风力涡轮机 1005 上的电力输出和 / 或结构载荷。系统 1000 可以包括至少一个仪器 1025,该仪器 1025 联接至风力涡轮机 1005 且测量操作数据(在本文中也叫做“可观察量”)。操作数据选自多种输入,比如风速、风的温度、预期值 (duepoint) 和压力(例如,大气压力)。仪器 1025 以通信的方式联接至控制器 1015。

[0200] 在实施方式中,控制器 1020 从仪器 1025 收集操作数据并且将操作数据与预定操作规范进行比较。控制器 1020 致流动体控制系统 1010 以基于操作数据与预定操作规范的比较调控叶片的俯仰和 / 或有效形状。

[0201] 系统 1000 还包括具有基部、自由端和机架轴线(未示出)的机架(塔架)。风力涡轮机 1005 通过机架支承。基部紧固至支承表面。风力涡轮机 1005 包括具有驱动轴轴线的驱动轴(或转子),该驱动轴关于驱动轴轴线旋转。驱动轴邻近机架的自由端紧固并且绕机架轴线是可旋转的。至少一个叶片紧固至驱动轴并且包括第一端、第二端和从第一端朝向第二端延伸的通路(或导管)。在示例中,导管从叶片的根部部段延伸至叶片的稍部部段。至少一个槽与导管连通并且沿着叶片的表面延伸。至少一个槽设置成邻近叶片的尾缘。在一些情形下,至少一个槽设置成邻近叶片的前缘。在一些情形下,至少一个槽设置在叶片的尾缘与前缘之间。流体控制系统 1010 与导管和叶片的槽连通。一个或更多个阀能够使流体控制系统 1010 和控制器 1020 彼此独立地调控加压空气(或其他流体)从叶片的槽流出。例如,这种阀能够使流体控制系统 1010 和控制器 1020 独立于从叶片的一个或更多个尾缘孔口出来的空气流而调节从叶片的一个或更多个前缘孔口出来的空气流。

[0202] 在一些实施方式中,流体控制系统 1010 和控制器 1020 总体地称作系统 1000 的控制系统 1030。在一些情形下,控制系统 1030 包括仪器 1025。

[0203] 在实施方式中,控制器 1020 包括一个或更多个计算机,所述一个或更多个计算机包括中央处理单元 (CPU) 和电子存储部件(例如,高速缓冲存储器、存储器、硬盘)用于借助于包括在控制器 1020 中的机器可读的、计算机可执行的命令控制流体控制系统 1010。这种机器可读的命令可以存储在控制器 1020 的物理存储部件(硬盘、高速缓冲存储器、存储器)上。

[0204] 在一些情形下,流体控制系统 1010 调节与流体控制系统 1010 流体连通的风力涡轮机 1005 的一个或更多个叶片的一个或更多个翼面的有效形状。例如,通过将加压的空气导向至喷吹通路,流体控制系统 1010 调节从前缘至尾缘的空气的流动分离。流体控制系统 1010 调节从具有一个或更多个喷吹通路的至少一个叶片的前缘至尾缘的空气流的转向。在各实施方式中,这通过向喷吹通路提供加压的流体来实现,比如通过向吸入侧提供加压的流体来实现。在使用期间,流体控制系统 1010 构造成增加或减小从前缘至尾缘的空气流的转向,从而增加或减小了由空气从前缘至尾缘的流动所引起的升力。

[0205] 在一些情形下,在控制器 1020 的指引下,流体控制系统 1010 向风力涡轮机 1005 的一个或更多个喷吹通路提供脉冲空气。在实施方式中,脉冲空气具有达到包括下述时段的脉冲时长:大约 0.001 秒、0.01 秒、或 0.1 秒、或 1 分钟、或 2 分钟、或 3 分钟、或 4 分钟、或 5 分钟、或 6 分钟、或 7 分钟、或 8 分钟、或 9 分钟、或 10 分钟、或 15 分钟、或 30 分钟、或 45 分钟、或 1 小时、或 2 小时、或 3 小时、或 5 小时、或 6 小时、或 7 小时、或 8 小时、或 9 小时、或 10 小时、或 11 小时、或 12 小时、或 1 天、或 2 天、或 3 天、或 4 天、或 5 天、或 6 天、或 1 周、或 2 周、或 3 周、或 1 月、或 2 月、或 3 月、或 4 月、或 5 月、或 6 月、或 1 年。在实施方式中,脉冲空气的脉冲压力选择成产生从一个或更多个通路出来的脉冲空气的期望的流动速率。在一些实施方式中,脉冲空气的脉冲压力是至少大约 0.000001 大气压 (“atm”)、或 0.00001atm、或 0.0001atm、或 0.001atm、或 0.01atm、或 0.1atm、或 1atm、或 2atm、或 3atm、或 4atm、或 5atm、或 10atm、或 20atm、或 30atm、或 40atm、或 50atm、或 100atm。脉冲时长和 / 或脉冲压力可选择成产生叶片的预定的或期望的空气动力学成形,如上所述。

[0206] 离心喷吹

[0207] 在风力涡轮机的操作期间叶片的旋转能够在叶片的根部或叶片的根部附近产生空气的流动。在一些情形下,具有阀的通路设置在叶片的根部处用于使空气能够从根部进入叶片的增压室并且随后从向前喷吹槽出来。这能够有助于减小叶片的旋转并且因而提供制动运动。在一些情况下,将空气从叶片根部处的开口导向至向前喷吹槽(即,构造成朝向叶片的前缘提供空气的槽)称作离心喷吹。

[0208] 在本发明的方面,叶片提供经由离心喷吹控制升力的能力。在一些实施方式中,不存在辅助鼓风机并且用于向前喷吹的所有抽吸作用来自风力涡轮机叶片的旋转和在叶片内形成的后续压力分布。随着叶片旋转,叶片的旋转将朝向叶片的稍部建立压力。在向前喷吹槽位于叶片的低压(或吸入侧)上、与叶片的内部连通的情况下,由涡轮机叶片的旋转所产生的压力明显地高于槽的外侧的压力并且将存在从叶片的内部离开槽的空气流。在一些情形下,该空气流将沿着叶片在所有的翼展方向上的位置处显露自己,并且使用者可以选择被一个或更多个向前喷吹槽覆盖的翼展的量。馈送叶片的内部且随后离开槽的流可以来自在叶片的正好根部处的孔口。该孔口能够具有流量控制阀,使得空气向叶片中的流动可以减小或切断,使得几乎不存在进入叶片内部的流并且因此几乎不存在从向前喷吹槽出来的流。在图 14 中示出了该系统的示意图。箭头示出了离心驱动的流的方向,沿着该方向空气从叶片的根部部分流动且通过具有流量控制阀的孔口进入叶片的空气室。在风力涡轮机的操作期间,该离心驱动流由叶片的旋转产生。

[0209] 由于需要向前喷吹以提供转子控制,因此可以将该流量控制阀打开至允许空气流动至叶片内部的不同程度。允许进入叶片内部的流的量将控制存在于向前喷吹槽中的流的量。离心驱动系统不是仅限于向前面朝的槽,而是可以用来向位于叶片中的任何孔口提供空气。离心喷吹能够用向前喷吹槽进行发电控制(参见图 15 和附随文本)。

[0210] 在一些实施方式中,叶片包括在向前喷吹槽的通路中的转向片,该转向片移除槽内的流的翼展方向分量,使得来自槽的流主要是弦向的。在一些情况下,叶片包括转向片,该转向片在结构上将叶片壳体的在向前喷吹槽的一侧上(比如朝向前缘)的部分与叶片壳体的在向前喷吹槽的另一侧上(比如朝向尾缘)的部分连接。这能够使叶片精确地将向前喷吹槽的尺寸保持为预定设计值。例如,叶片包括转向片,该转向片在结构上将向前喷吹

(喷射)槽的头部的叶片壳体与射流槽的尾部的叶片壳体连接。

[0211] 在一些情况下,通过离心喷吹实现的空气的实际速度与风力涡轮机的旋转速度相同。发明人已经意识到,将离心喷吹空气导向至风力涡轮机的根部部分中可能意外地在不需要压缩空气的情况下产生足够的压力来迫使空气以足以产生该翼面部段的空气动力学性能的速度离开向前喷吹槽。使得槽的外侧的局部压力低于由离心作用所产生的压力的向前喷吹槽的在弦向位置处的定位能够实现极大的喷射速度。在一些情况下,向前喷吹的益处可以在不需要附加喷吹比如使用压缩空气的喷吹的情况下仅通过离心喷吹来实现。然而,在其他情况下,可以利用离心喷吹并结合经由压缩机提供的加压的空气来提供向前喷吹。

[0212] 图 20 示出了具有向前喷吹槽和两个增压室的叶片。增压室中的每个增压室与向前喷吹槽的一部分流体连通。图 20 的叶片可以通过调控进出各个增压室的空气流来提供对向前喷吹的独立控制。在操作期间,空气被供给至增压室中并且随后离开向前喷吹槽的一部分。

[0213] 在一些实施方式中,离开向前喷吹槽的空气流通过控制空气流动至增压室中而受到调控。例如,离开图 14 的向前喷吹槽的空气流通过打开和切断(或局部地打开)流量控制阀而受到调控。向前喷吹槽可以包括用于防止或最小化从吸入侧流动至叶片的增压室中的空气流的回流防止阀。

[0214] 在一些实施方式中,离心喷吹与如本文中所描述的为非空气动力学的叶片一起使用。

[0215] 用于形成叶片的方法

[0216] 在本发明的另一方面,用于形成叶片的方法包括拉挤复合材料通过叶片模具以形成下述叶片:该叶片具有在尾缘和前缘处交汇且从叶片的根部部分延伸至叶片的稍部部分的压力侧和吸入侧。该模具成形使得拉挤的叶片的根部部分大致是非空气动力学的。在一些情形下,复合材料被拉挤通过叶片模具以形成叶片。

[0217] 接着移除吸入侧的一部分。这提供空间以形成用于叶片的喷吹通路(或开口)的一个或更多个开口。在一些情况下,吸入侧的已移除的部分位于吸入侧的尾缘或前缘处。

[0218] 接着,已移除的部分用具有一个或更多个流体通路的吸入侧构件来代替,所述一个或更多个流体通路构造成向吸入侧的表面提供加压的流体(例如,空气)。一个或更多个流体通路构造成如上所述与流体控制系统流体连通。吸入侧构件借助于一个或更多个紧固构件(例如,螺钉)或聚合材料比如环氧树脂紧固至叶片。

[0219] 在一些实施方式中,然后移除压力侧的一部分。压力侧的已移除的部分位于压力侧的尾缘或前缘处。压力侧的已移除的部分用压力侧构件来代替,该压力侧构件具有用于向压力侧的表面提供加压的空气的一个或更多个流体通路。压力侧构件借助于一个或更多个紧固构件(例如,螺钉)或聚合材料比如环氧树脂紧固至叶片。

[0220] 在其他实施方式中,叶片通过拉挤成形。图 11 示出了根据本发明的实施方式的用于 40m 的叶片的翼展方向厚度分布(或轮廓)。在实施方式中,图 11 的叶片借助于拉动机构通过将初期叶片材料(例如纤维、复合材料)导向通过模具和热源来进行拉挤而形成。初期叶片材料具有恒定的截面。在一些实施方式中,初期叶片材料被拉动通过树脂并且在一些情况下然后被拉动通过单独的预成型系统。初期叶片材料然后被导向至加热的模具中,

其中，初期叶片材料经历聚合作用以形成叶片材料。

[0221] 在实施方式中，初期叶片材料包括一个或更多个单分子子单元，所述一个或更多个单分子子单元构造成反应以形成聚合材料。在实施方式中，叶片材料包括选自包括聚酯、聚氨酯、乙烯基酯和环氧树脂的组的一个或更多个材料。

[0222] 拉挤有利地允许大致一致的纤维的形成，这有助于增加材料的强度、尤其是压缩强度和疲劳强度。对于图 11 的叶片的曲率，叶片的最终的诱发应变针对大约一英寸乘一英寸平方的拉挤在其最大值处小于 50 微应变单元。图 11 的厚度分布允许使用从大约 10m 至 22m 的恒定数量的平方拉挤。

[0223] 回流控制阀

[0224] 在本发明的另一方面，提供了翼展方向回流防止阀。翼展方向回流防止阀与向前喷吹槽一起使用以减小或消除空气沿着槽长度被吸入和排出不同压力的区域。在一些情况下，回流防止阀防止或最小化空气通过向前喷吹槽从吸入侧进入叶片（比如叶片的空气室）。该现象会在空气供给导管在根部端部被密封时出现并且是沿着喷吹槽长度出现的不同压力分布的结果。该压力分布和在其密封状态下的同一导管构型一起（其中，导管内侧的压力不再高于所有点处的喷吹槽外侧的压力）可以引起喷吹翼展的一些区域相对于其他区域给导管加压，从而允许甚至在导管密封的情况下也能出现喷吹。

[0225] 在根部处的增压室打开且因离心或鼓风机抽吸而被加压的正常操作条件下，增压室压力高于所有点处的槽的出口压力，并且止回阀打开以允许槽根据需要喷吹空气。只要增压室关闭，则压力下降并且止回阀可以在增压室与槽出口之间存在负压差的任何位置处密封，从而防止通过槽充气增压。

[0226] 在一些实施方式中，回流防止阀是组装至可移除卡上的挡叶型弹性止回阀，该可移除卡靠近射流出口点结合至向前喷吹槽组件中，如图 16 中所示。在槽的上表面被拆卸的情况下阀卡是可移除的，这便于维护和检查（图 17）。将阀定位在射流出口附近使阀的前面仍然可获得的翼展方向截面最小化。回流防止阀与槽的上表面上的挠性稍部密封的内侧实施防止了密封在不同的压力下影响槽出口几何形状。由于槽组件内侧可获得的大得多的区域，其也允许使用更粗壮的材料。

[0227] 图 20 示出了具有与向前喷吹槽流体连通的双空气传送增压室（顶部）的涡轮机叶片。向前喷吹槽如所示是沿翼展方向定向的狭缝。向前喷吹槽在叶片的吸入侧上朝向叶片的前缘导向空气。双空气传送增压室（或室）与流体控制阀（图 20，底部）流体连通。图 20 的叶片不包括结构挡板以形成增压室，这有助于最小化处理成本。叶片中的现存结构构件也能够用来形成叶片增压室。向前喷吹槽可以包括用于防止空气通过向前喷吹槽流动至增压室中的回流阀。图 20 的叶片可以与离心喷吹一起使用，在该情况下，增压室的在根部处的开口包括用于调控空气流进入增压室和离开向前喷吹槽的阀。

[0228] 在一些实施方式中，具有向前喷吹槽的叶片可以具有至少 1 个、或 2 个、或 3 个、或 4 个、或 5 个、或 6 个、或 7 个、或 8 个、或 9 个、或 10 个、或 20 个、或 30 个、或 40 个、或 50 个、或 100 个流体（例如空气）传送增压室（或室）。每个增压室与用以调控流体至增压室中的流动的流量控制阀或多个阀流体连通。

[0229] 本文中提供的叶片比如图 14 和图 20 的叶片可以包括用于调控叶片的多个室内的流体（例如，空气）的压力的压力传感器。在示例中，压力传感器可以帮助调控图 20 的叶

片的增压室中的流体的压力,从而有助于调控离开叶片的向前喷吹槽的流体流。

[0230] 用于高带宽喷吹控制的俯仰安排

[0231] 向前喷吹(即,将流体比如空气朝向叶片的前缘导向)技术可以提供转子电力和推力的高带宽控制,从而允许通过向前喷吹而不是传统的变俯仰来执行大部分转子控制功能。与低惯性控制阀和快速空气动力学响应联接的重要的控制权使得向前喷吹与传统的变俯仰方法相比具有显著减小的致动时间。该控制权提供几乎无限制的工作周期的附加的益处。尽管向前喷吹具有大量控制权,然而存在与高带宽向前喷吹系统配合工作的低带宽俯仰控制器为何有利的强有力的原因,例如:保留紧急切断和停车特征;使向前喷吹控制包络在额定功率周围“配平”或居中的能力;因基部俯仰所造成的平均推力负载的减小;附加(冗余)的空气动力学制动;向前喷吹控制权一直延伸至切断器。

[0232] 该俯仰控制系统因响应速率的放松而会显著地慢于传统设定。这隐含着系统的成本和维修费,由于其工作周期将最小化。在一些情况下,俯仰控制可以在额定系统操作指标上方致动,并且将提供根据变化的转子条件决定的低带宽基部俯仰设置,向前喷吹将在低带宽基部俯仰设置周围以高得多的带宽控制转子输出。俯仰控制器用来优化向前喷吹的控制包络以及用来提供某些切断和补助功能。

[0233] 向前喷吹技术在转子控制应用中的优点在于,相比传统俯仰控制系统能够快速地改变转子空气动力学属性的能力。操作向前喷吹转子控制系统所需的机械部件是比它们的俯仰控制对应物更轻的数量级,从而在一些情况下允许不受工作周期问题约束的高带宽操作。一组的一个或更多个控制阀能够调控空气传送至向前控制部段,其中,总系统响应主要取决于阀响应和空气动力学设定事件。向前喷吹“部段”可以视为是连续的槽的致动的部分或者是通过多个增压室设计馈送的单独控制的槽。在较大的叶片中可以考虑与沿着传送增压室的长度向下的压力脉冲的传播速度相关的另一因素,但是该因素主要由机械和空气动力学响应控制。如果对较大的叶片必须和有利的话,则控制阀可以进一步沿着叶片翼展放置以缩短传播时间。

[0234] 图 21 中示出了对用于向前喷吹的等同的阶跃分布的响应对俯仰控制的代表性曲线。向前喷吹系统的响应通过使用代表性控制阀特征和允许空气动力学设定时间和压力脉冲传播来建模。俯仰控制系统参数取自在该级中的涡轮机的模型。

[0235] 在向前喷吹的内容中的俯仰安排涉及基部俯仰或“配齐”设定的应用,该基部俯仰或“配齐”设定的应用允许向前喷吹系统的控制包络被优化用于给定的转子条件。俯仰安排的应用相比向前喷吹响应可能是缓慢的,这负责绕每个基部俯仰设定的转子控制。随着风速增加或减小,会需要基部俯仰的变化量以优化向前喷吹的控制包络。在图 22 中可以观察到优化的俯仰安排的结果,其中,向前喷吹控制包络以涡轮机额定功率居中。如通过误差杆所描绘的相对于额定的偏移源自现场数据,并且证明在仅俯仰控制下通过涡轮机所经受的大的功率变化。可以观察到的是,通过应用基部俯仰安排使这些偏移良好地落入向前喷吹系统的控制包络内。喷吹技术的快速响应将允许这些功率变化以及塔架载荷和叶片载荷的急剧减小。

[0236] 图 23 中呈现了俯仰安排,其中,俯仰阶跃意在证明俯仰控制器不需要快速追踪风速的变化,仅需要周期性地调节向前喷吹控制包络。

[0237] 在一些实施方式中,向前喷吹涉及使用多个喷吹区域,所述多个喷吹区域可以被

独立地控制。在该构型中,可以比如通过使用伸延了叶片的翼展的独立的传送增压室独立地致动和控制向前喷吹部段。在该内容中致动向前喷吹部段涉及通过比如经由根部安装的阀提供通过射流槽的可控制的质量流量来使翼面部段离开被动空气动力学状态。在已经执行了期望的转子控制功能之后,控制阀可以终止流量通过射流槽,从而将翼面部段放回至被动状态中。

[0238] 该类型的构型的优点在于,通过优先致动在叶片的稍部处的向前喷吹部段然后前进至内侧直到观察到期望的转子响应为止的内侧载荷转移的能力。最外部段对根部弯曲力矩具有最大冲击,并且最外部段首先响应于改变转子条件来被致动。一旦瞬时事件已经过去并且需要向前喷吹以增加转子动力,则以相反的顺序停用部段,再次试图将载荷转移至内侧区域(参见图 24)。

[0239] 存在许多可能的控制方案,这些控制方案可以通过独立地控制的向前喷吹部段应用于转子,以上概述了这些控制方案中的仅一种控制方案。有利的是,在不同的转子条件下采用不同的控制技术。现存的控制输入除了更多典型的控制变量(例如,功率、风速)之外还包括应变计数据。应变计可以提供关于涡轮机状态的快速反馈,与高带宽喷吹控制联合起来可以提供高度有效的载荷减小。

[0240] 示例 1

[0241] 图 15 示出了可以通过向前喷吹槽实现的发电控制的水平的示例。曲线示出了基线叶片发电和用于具有操作向前喷吹槽的叶片的发电装置,该喷吹槽位于翼面的翼弦中点位置处从涡轮机叶片的翼展的大约 55% 至 90%。示出了两个喷吹条件,一个条件仅具有离心动力喷吹,而另一个条件具有通过辅助喷吹系统(例如,6 千瓦功率消耗)与离心动力部件的组合来向向前喷吹槽提供空气。能够观察到的是,通过离心驱动的向前喷吹槽可以实现显著控制(即,电力减小)并且辅助鼓风机的附加可以用来延伸功率减小的水平。在一些情况下,通过使用向前喷吹槽(以及通过槽提供的空气或其他气体),涡轮机不需要俯仰,直到较高的风速为止,如其低于额定生成的电力。因此,向前喷吹系统可以延迟俯仰的开始,直到较高的风速为止,并且显著地减小了俯仰系统的工作周期。

[0242] 示例 2

[0243] 用于使用在风力涡轮机向前喷吹槽中的阀实施使用 0.020" 硅树脂翻板,该 0.020" 硅树脂翻板通过室温硫化(RTV)硅粘合剂和弹簧钢保持条安装至铝框架(图 19)。阀卡通过使用通过转向片的尾缘且进入插件的下表面中的通道而保持在槽插件中。上表面的安装完全地保持阀卡,如可以在图 18 中观察到的。

[0244] 本文中所提供的系统和方法能够与比如下述专利中描述的系统和方法的其他的系统和方法组合或通过比如下述专利中描述的系统和方法的其他的系统和方法可变型的:Andersen 等人的美国专利 No. 6,940,185(“用于高输出风力涡轮机的先进的气动控制系统”);Nies 等人的美国专利公布 No. 2010/0143122(“用于风力涡轮机的活动流控制系统”);A. Holzem 的美国专利 No. 5,106,265(“具有充气致动的扰流板的风力涡轮机翼”);E. Reinke 的美国专利 No. 4,197,053(“空气驱动推进器”);Cyrus 等人的美国专利 No. 4,504,192(“用于风力涡轮机的射流扰流板结构”);Wetzel 的美国专利 No. 7,344,360(“具有面内扫掠的风力涡轮机转子叶片和使用该风力涡轮机转子叶片的装置,以及用于制造该风力涡轮机转子叶片的方法”);Bell 等人的美国专利公

开 No. 2010/0143146 (“用于涡轮机叶片的平面插件”);Somerville 的 GB02186033A; 2011 年 2 月 14 日提交的美国临时专利申请序列号 No. 61/442,761; 美国专利申请 No. 13/185,459 (“涡轮机叶片、系统和方法”);2011 年 3 月 17 日提交的美国临时专利申请序列号 No. 61/453,941; 以及 2011 年 7 月 18 日提交的美国临时专利申请 No. 61/509,069 (“具有一体的压缩机和电力发电机的涡轮机”), 这些专利的全部内容通过参引并入本文中。

[0245] 尽管在一些情形下非空气动力学叶片的空气动力学性能借助于气动喷吹来改进, 然而在替代性情况下, 空气动力学性能通过在叶片的压力侧、吸入侧、前缘和 / 或尾缘上的一个或更多个槽抽吸真空来改进。真空可以借助于一个或更多个泵来抽吸。在这种情况下喷吹槽可以称作“真空槽”。

[0246] 除非该内容以其他方式明确地要求, 在说明书和权利要求的全文中, 词语“包括”等以与排他性或穷尽性意义相反的包括性的意义上理解;也就是说, 在“包括但不限于”的意义上理解。使用单数或复数的词语也分别包括复数或单数。附加地, 词语“本文中”、“在下文中”、“以上”、“以下”和类似重要的词语总体上指的是作为整体的该申请而不是该申请的任何特定部分。当词语“或”关于两个或更多个项目的列表使用时, 该词语覆盖下面的所有词语的解释:列表中的任何项目、列表中的所有项目和列表中的项目的任何组合。

[0247] 尽管已经示出和描述了特定实施方式, 但是根据前述内容应当理解的是, 本文中可以对这些实施方式进行多种修改并且在本文中预设了这些实施方式多种修改。也不意在通过设置在说明书内的具体示例来限制本发明。尽管已经参照前述说明描述了本发明, 但是本文中的本发明的实施方式的描述和说明并不意味着在限制性意义上解释。此外, 还应当理解的是, 本发明的所有方面并不限于本文中所阐述的具体描绘、构型或相关部分, 而是取决于各种条件和变量。呈本发明的实施方式的形式和细节的不同的改型对本领域的普通技术人员将是明显的。因此, 预设本发明也将覆盖任何这种改型、变型和等同替代。

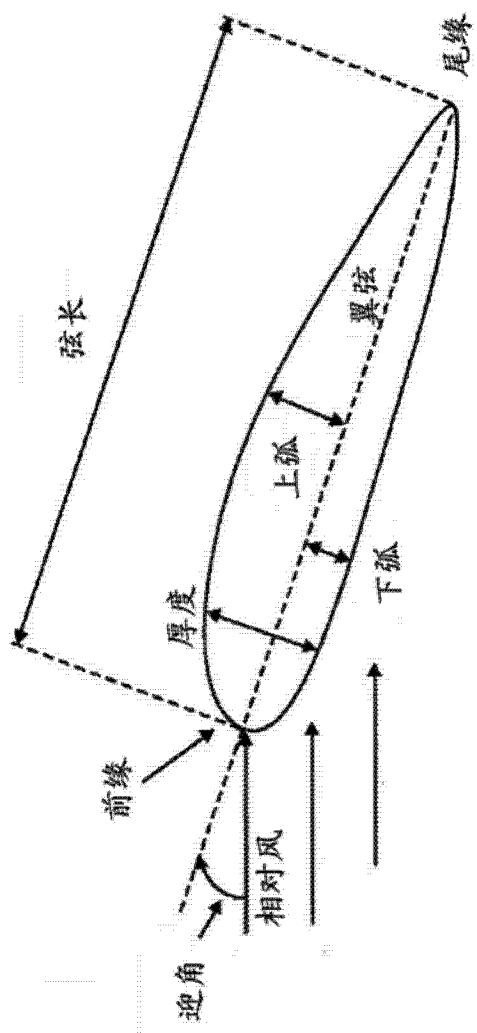


图 1

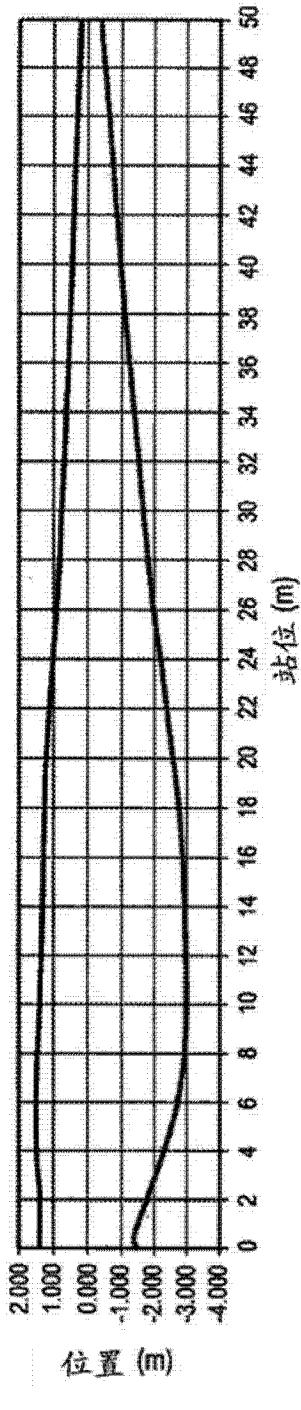


图 2

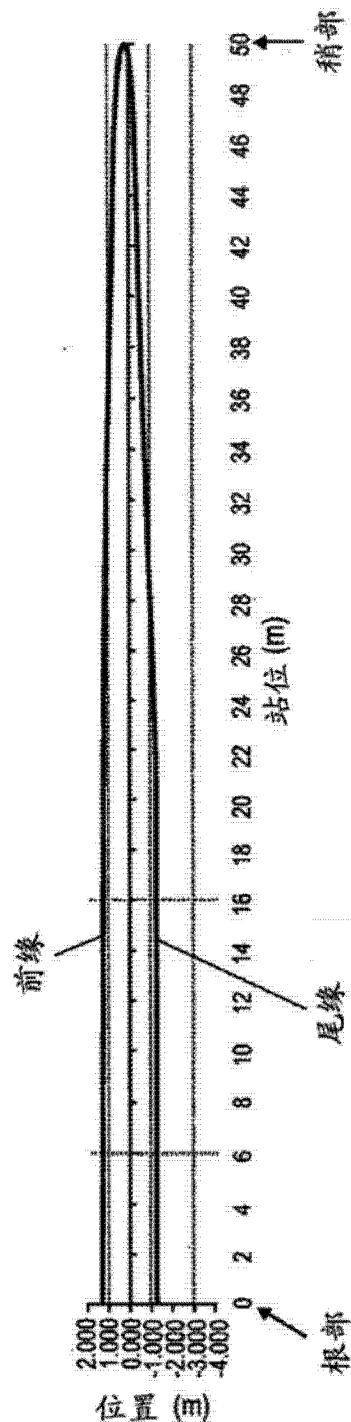


图 3

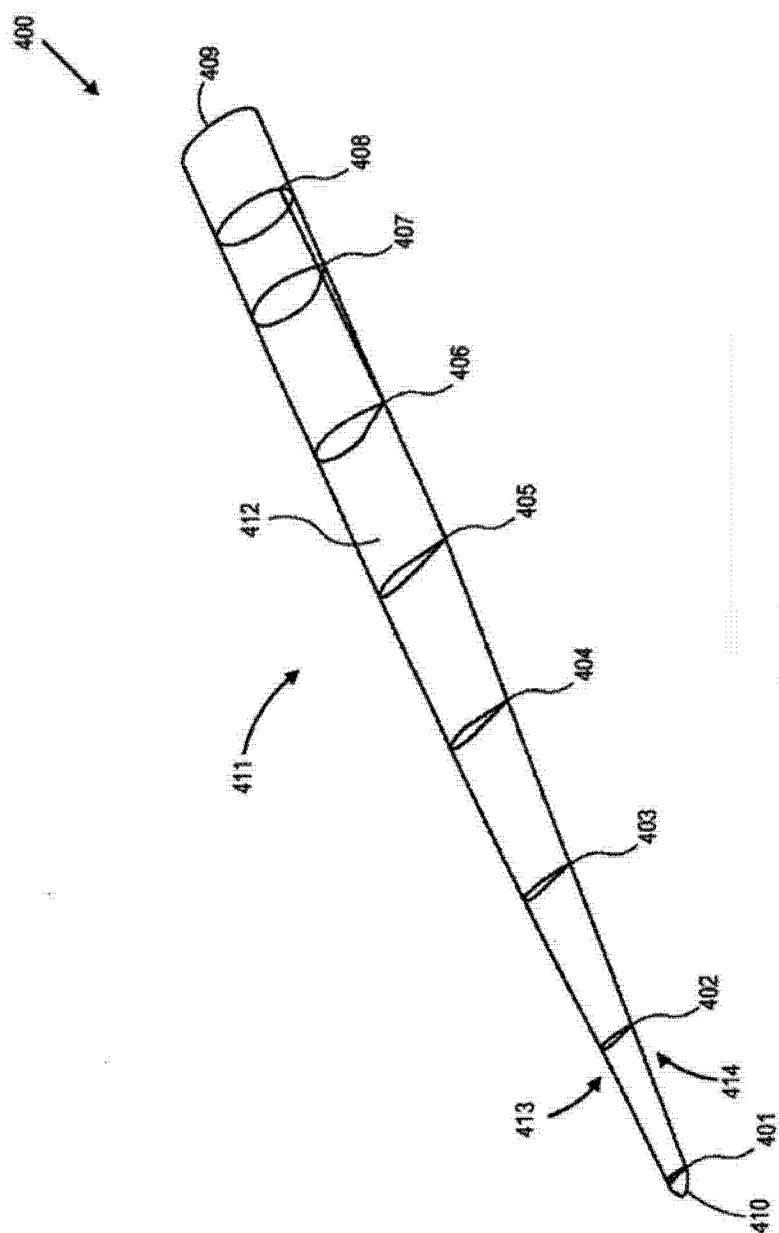


图 4

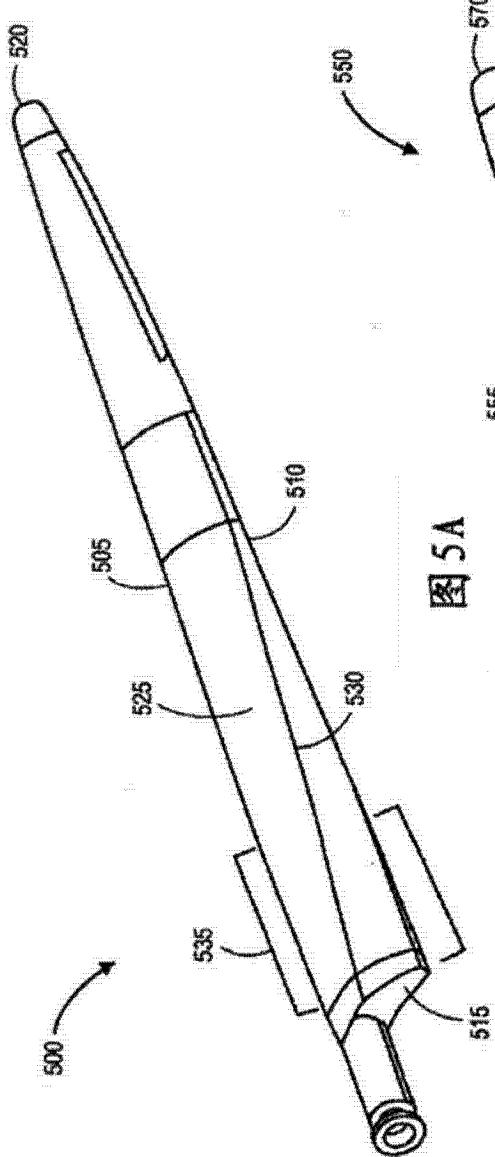


图 5A

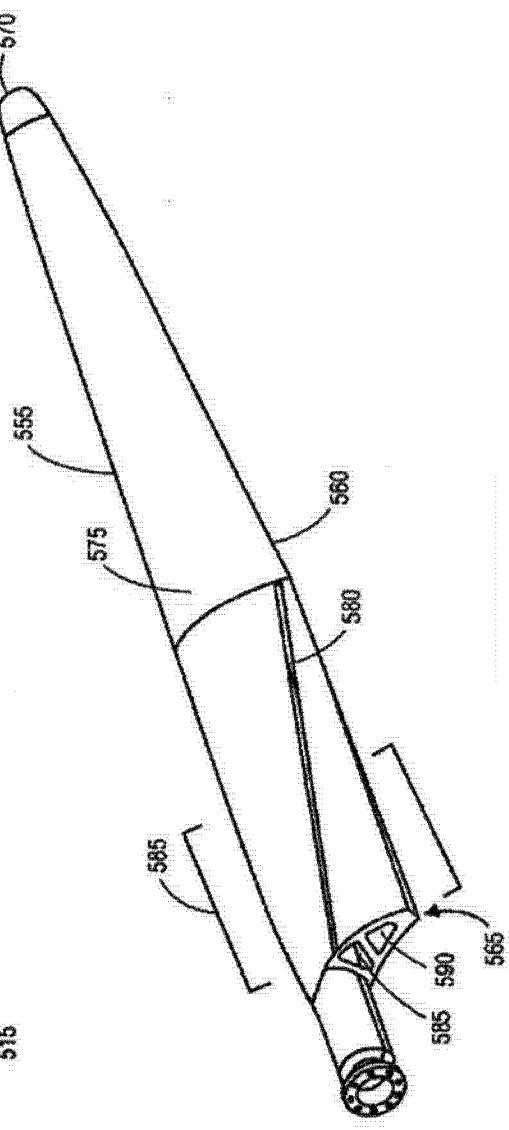


图 5B

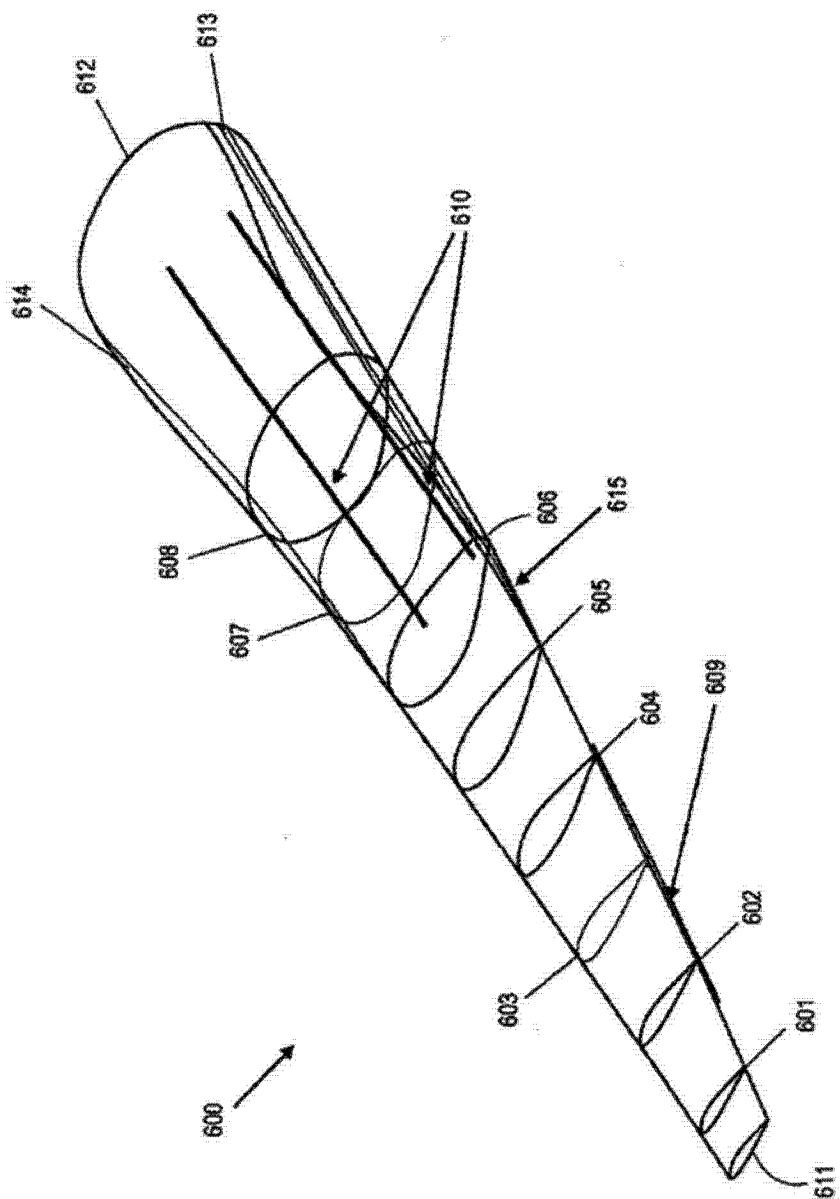


图 6

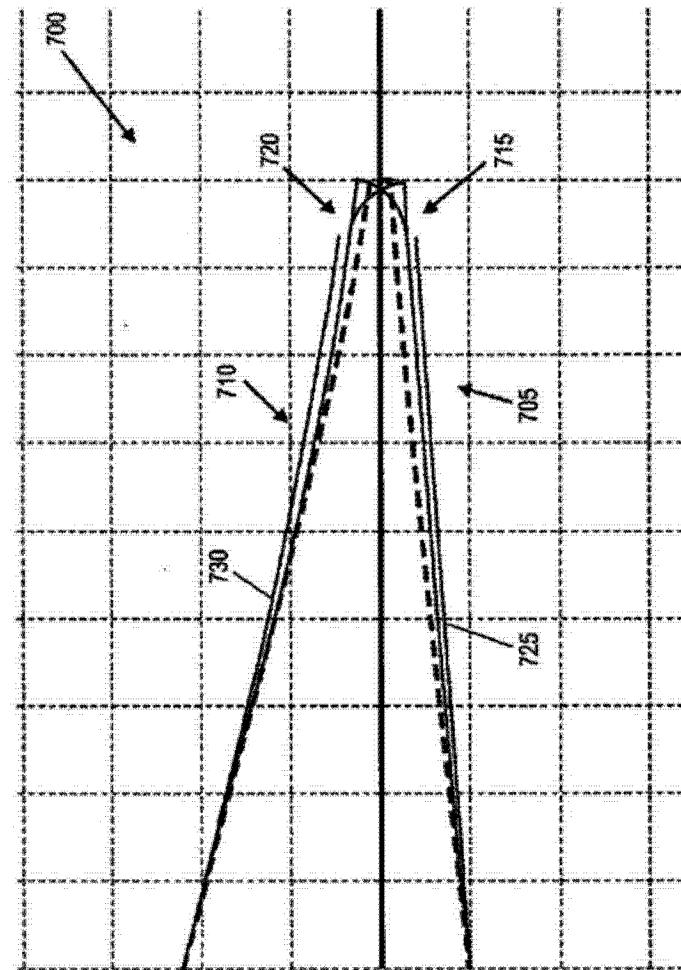


图 7

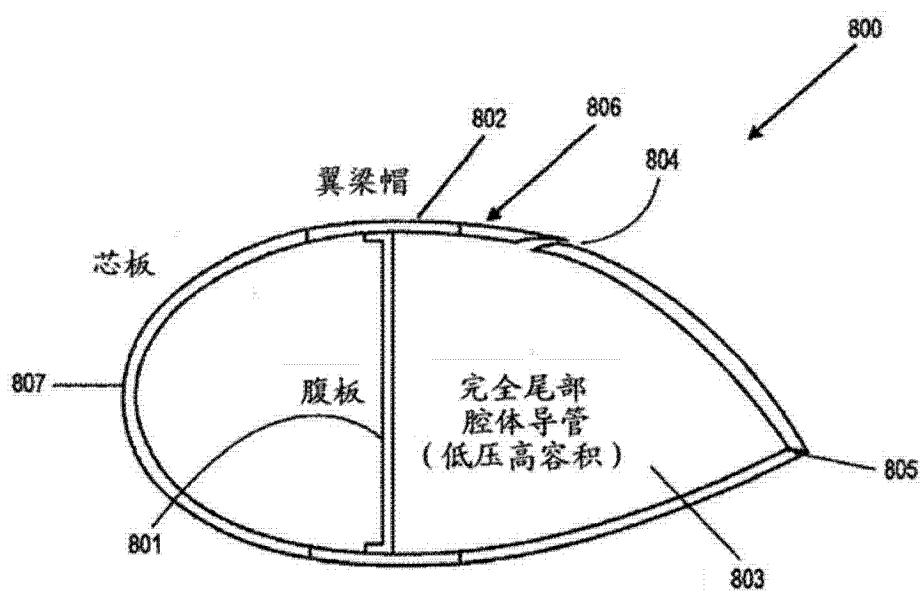


图 8

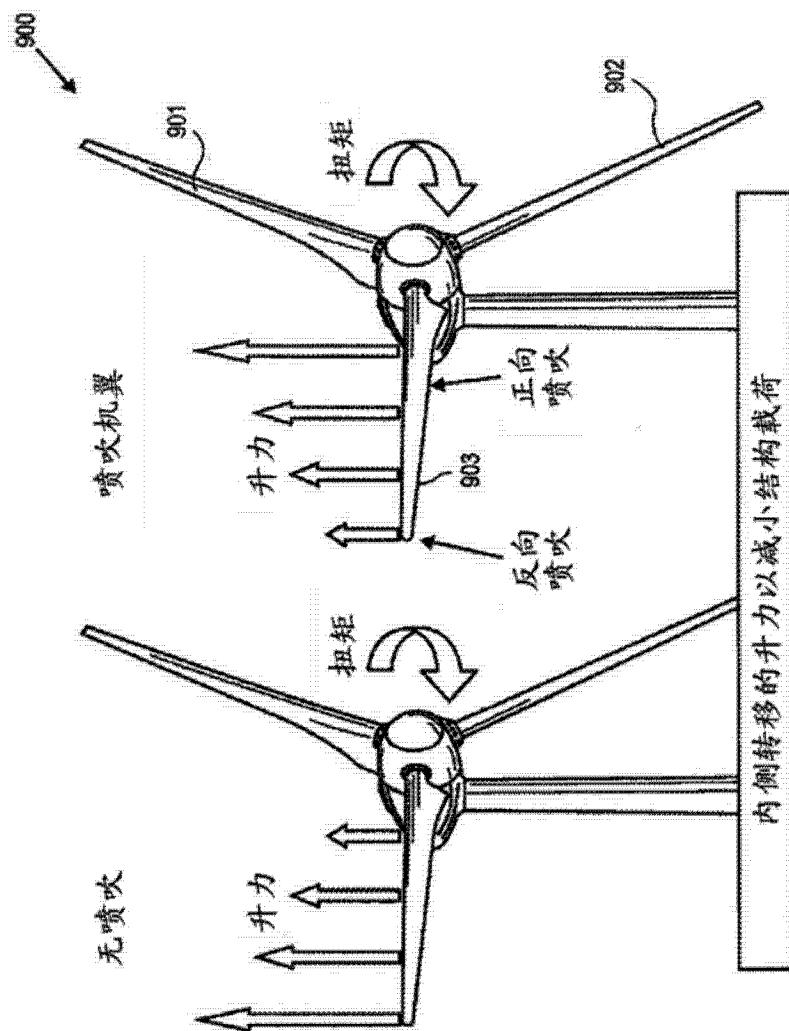


图 9

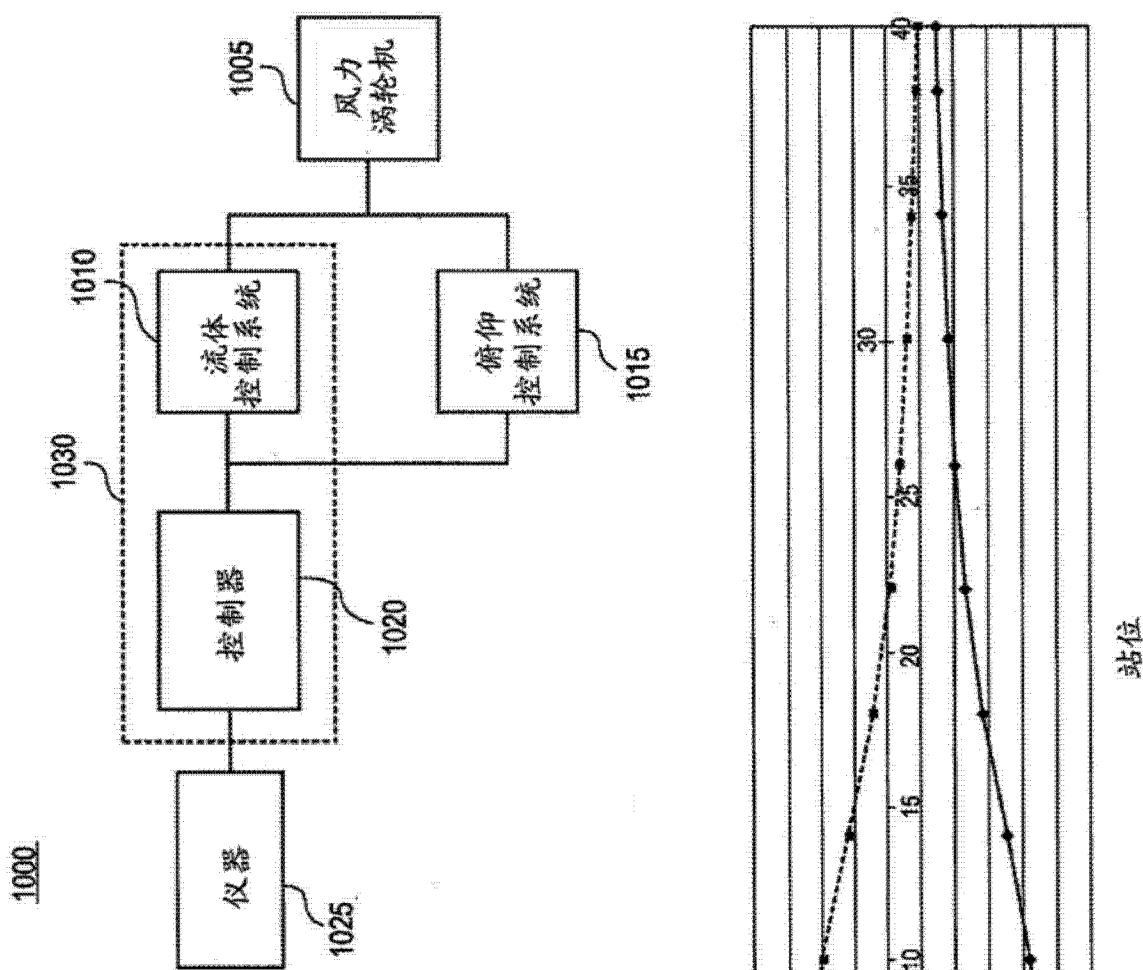


图 10

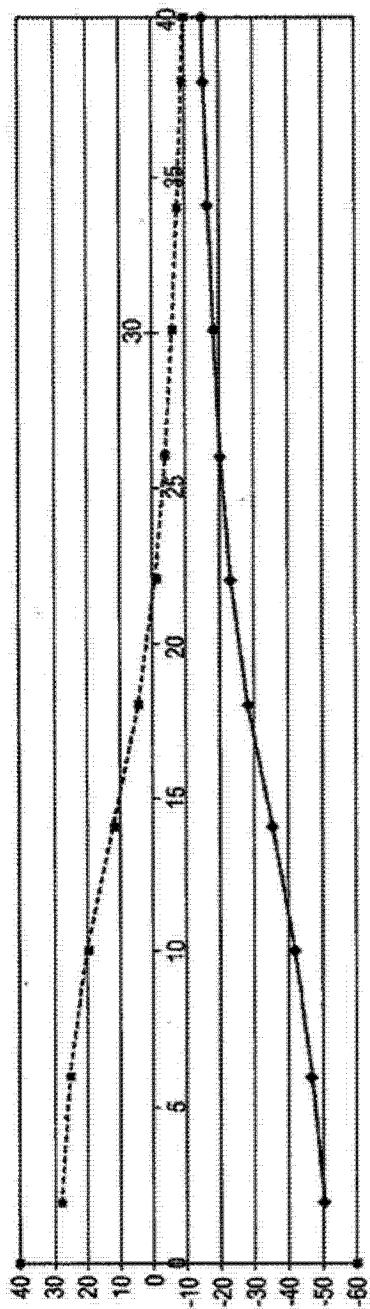


图 11

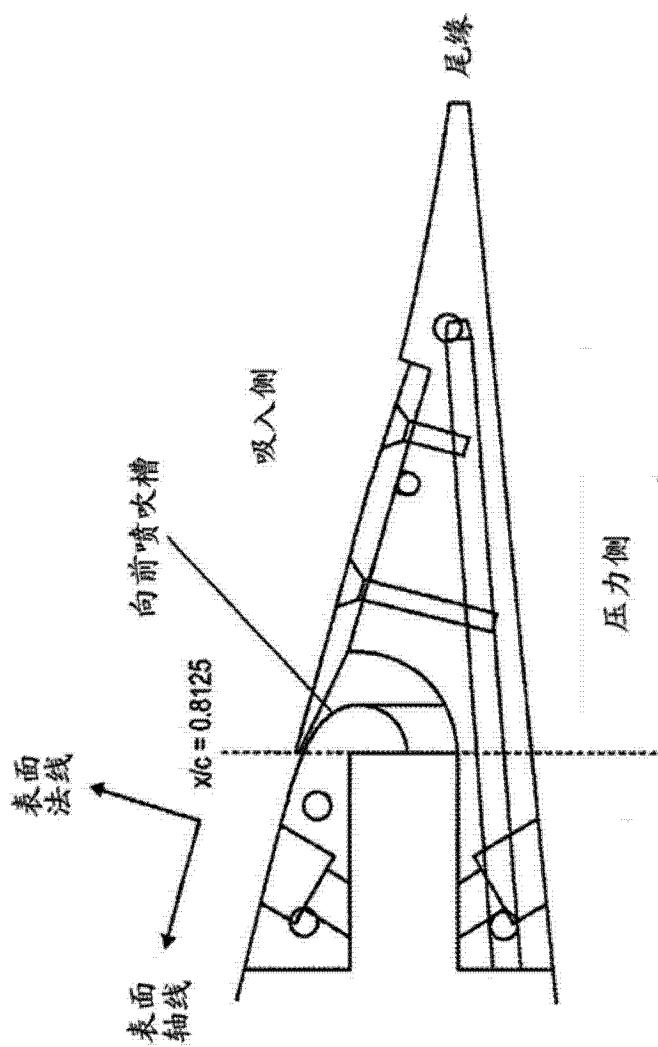


图 12

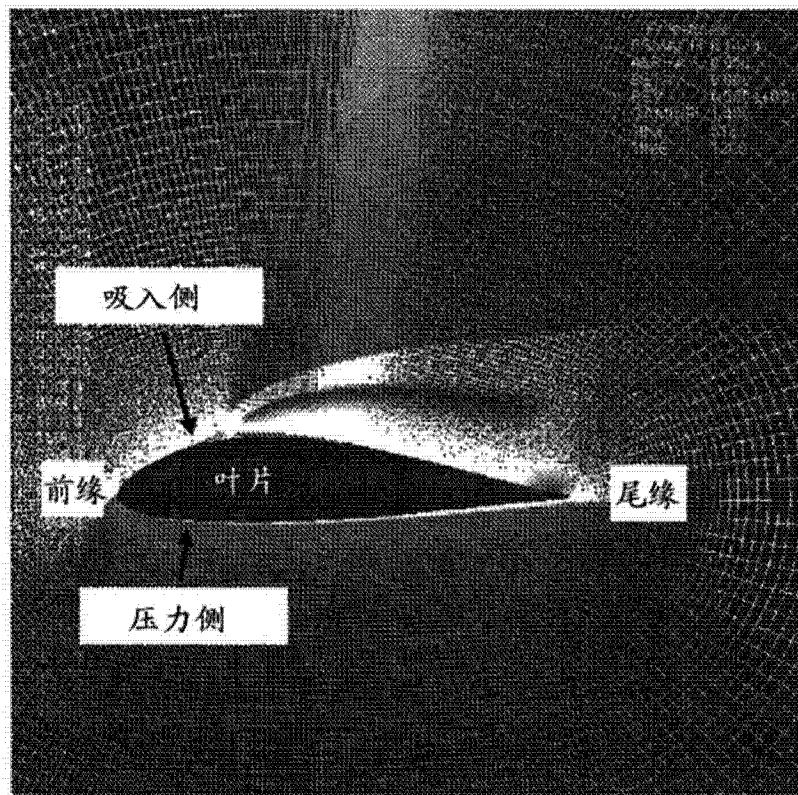


图 13

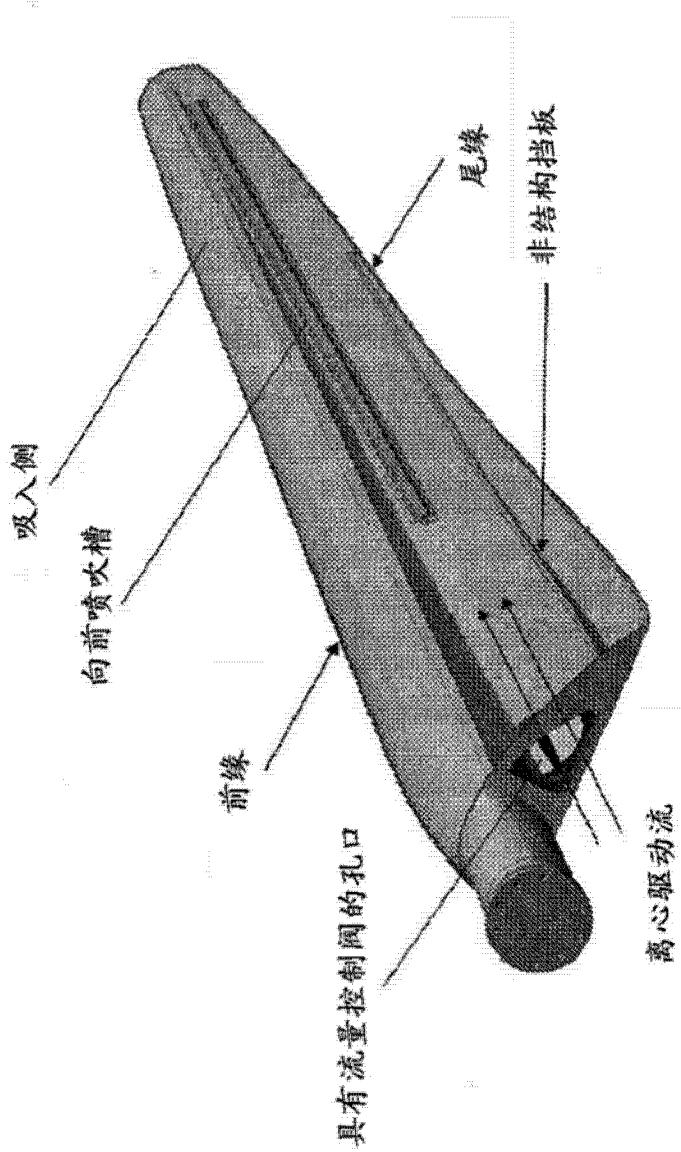


图 14

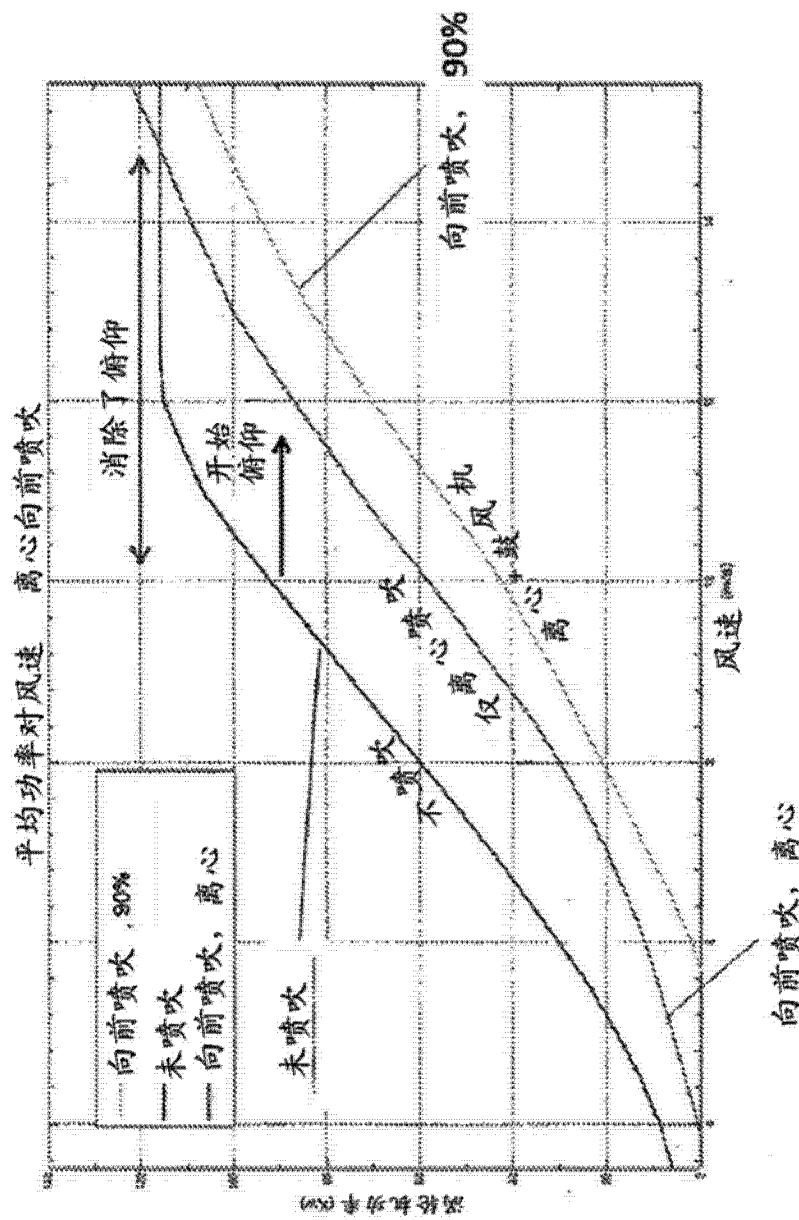


图 15

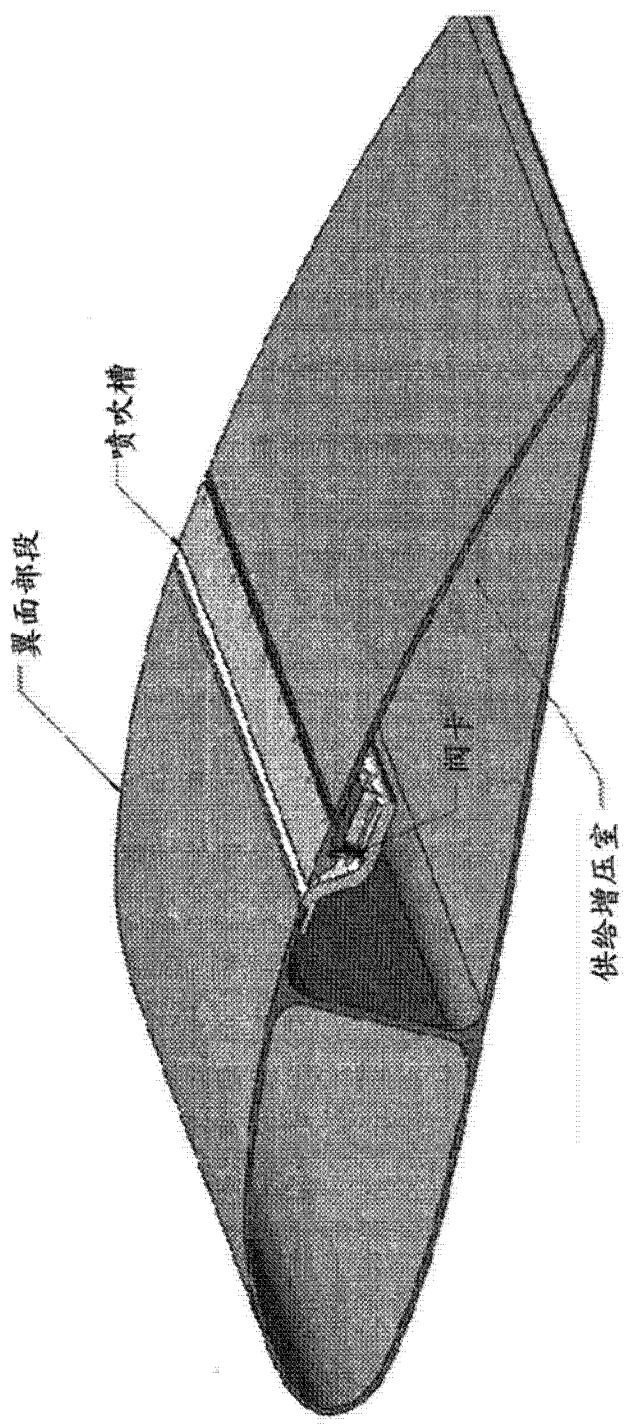


图 16

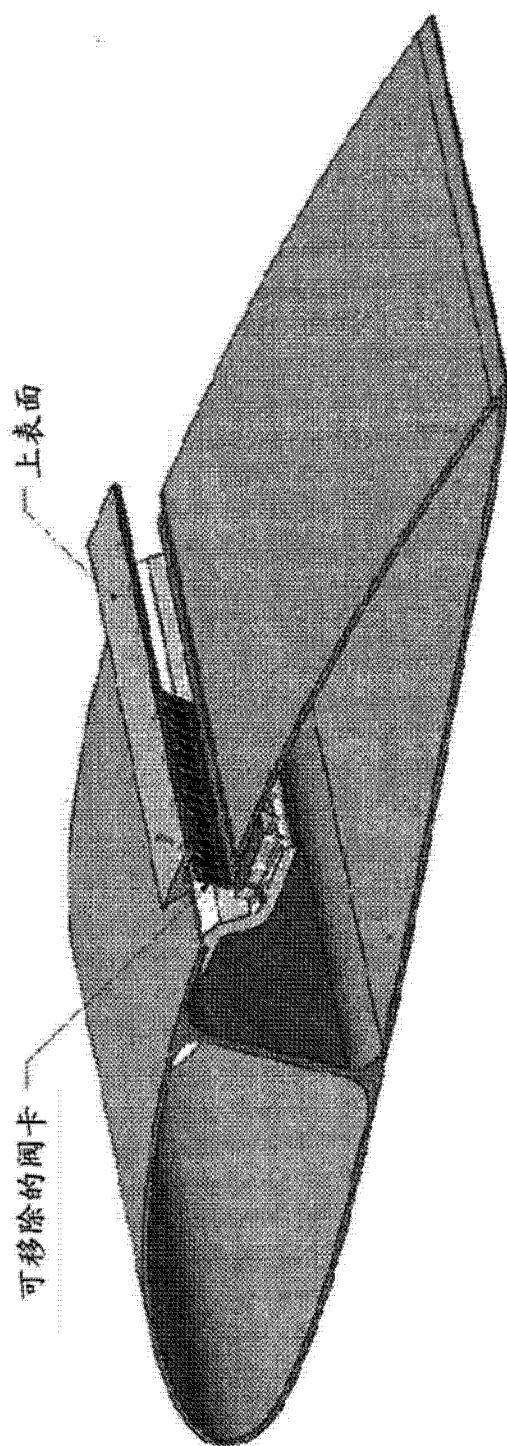


图 17

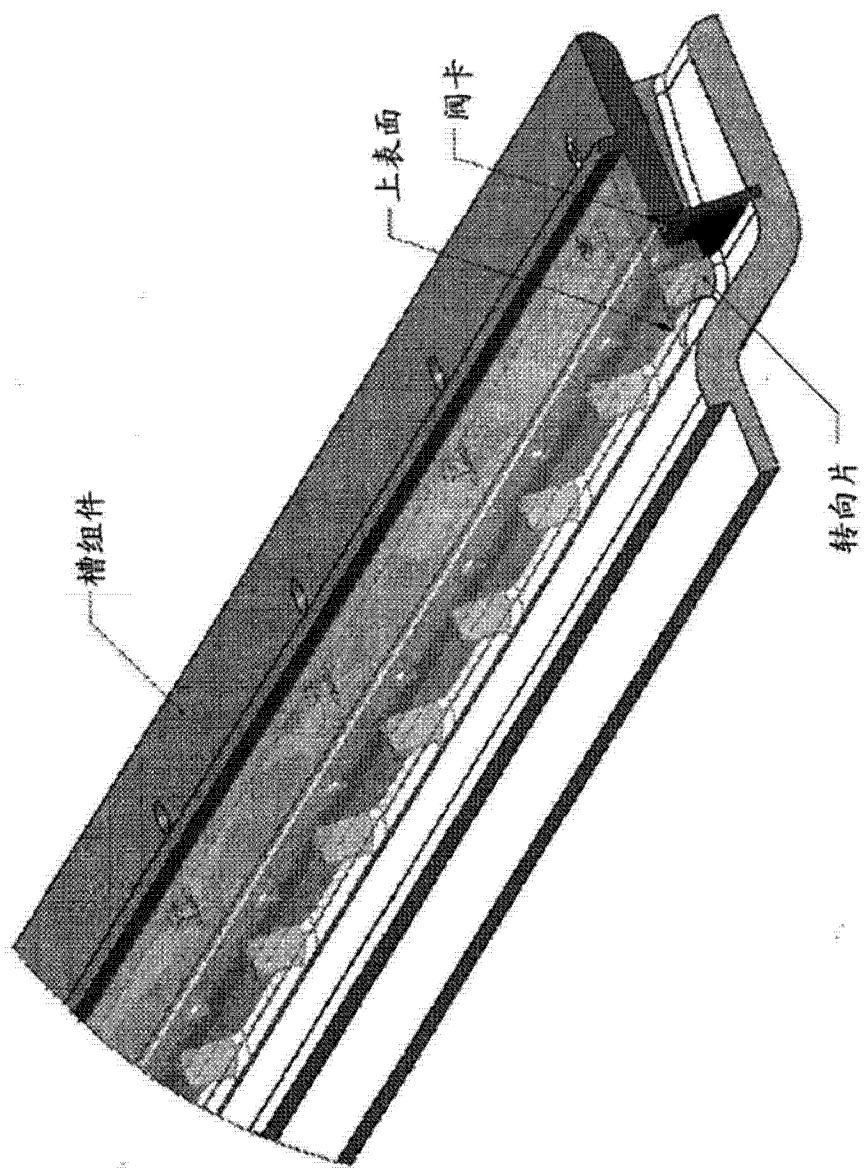


图 18

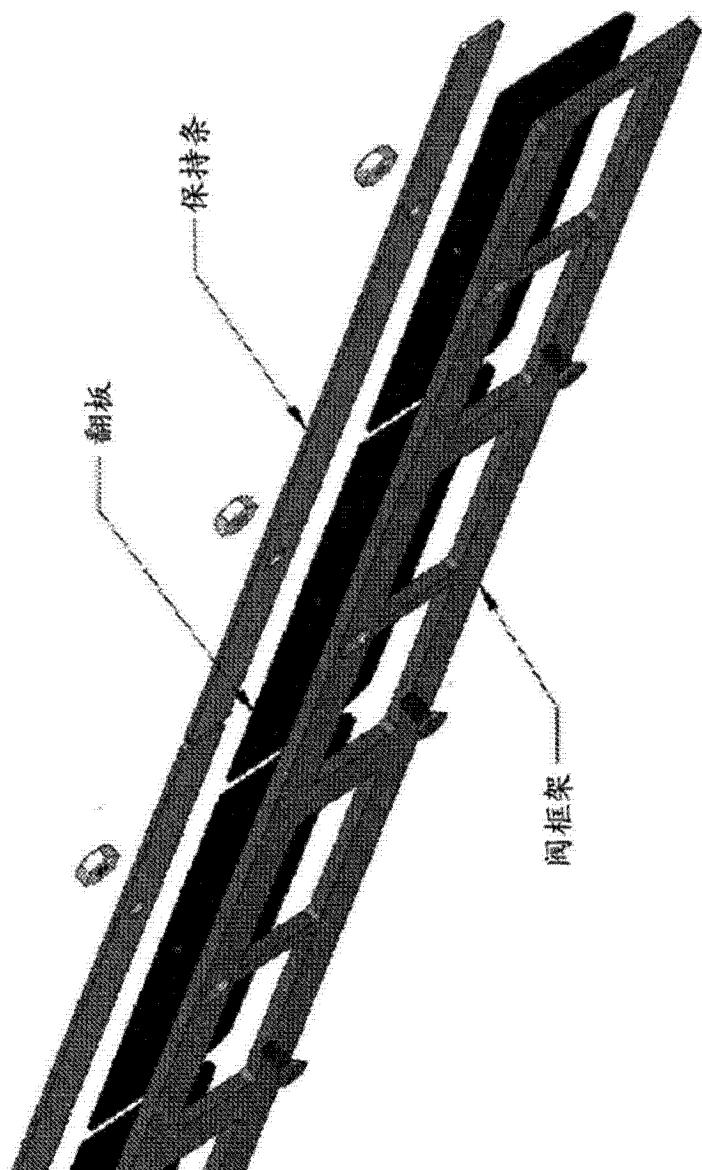


图 19

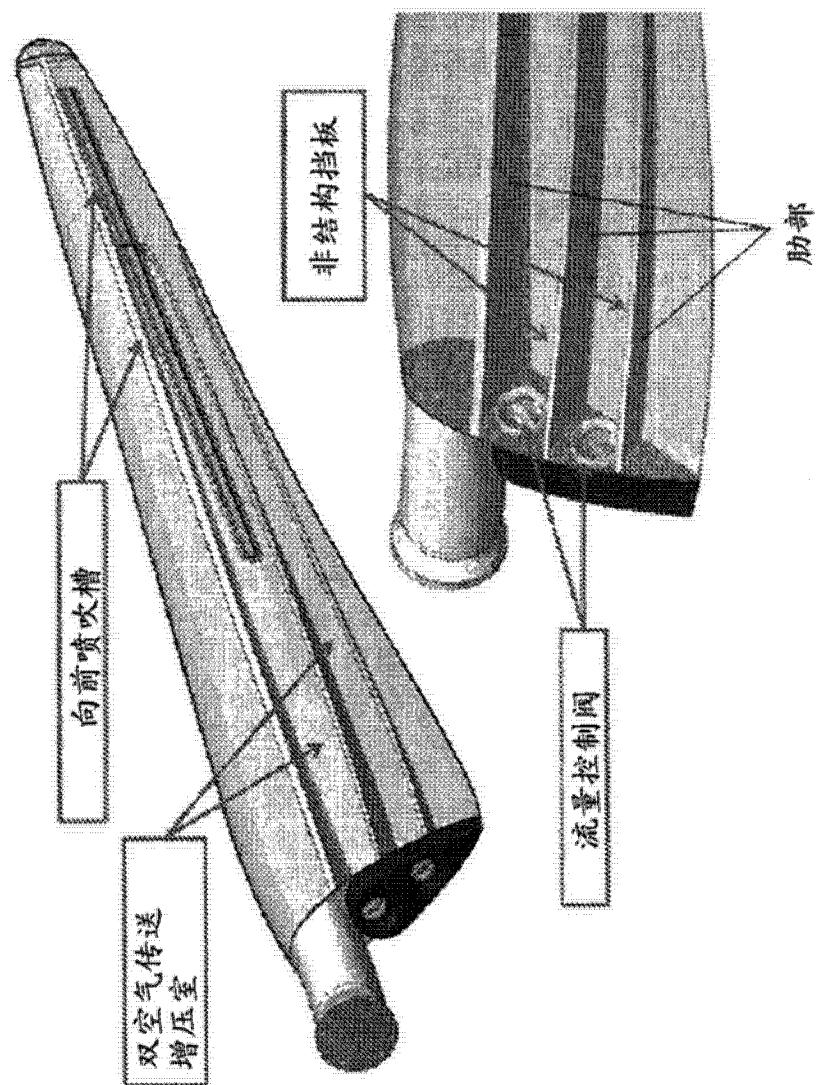


图 20

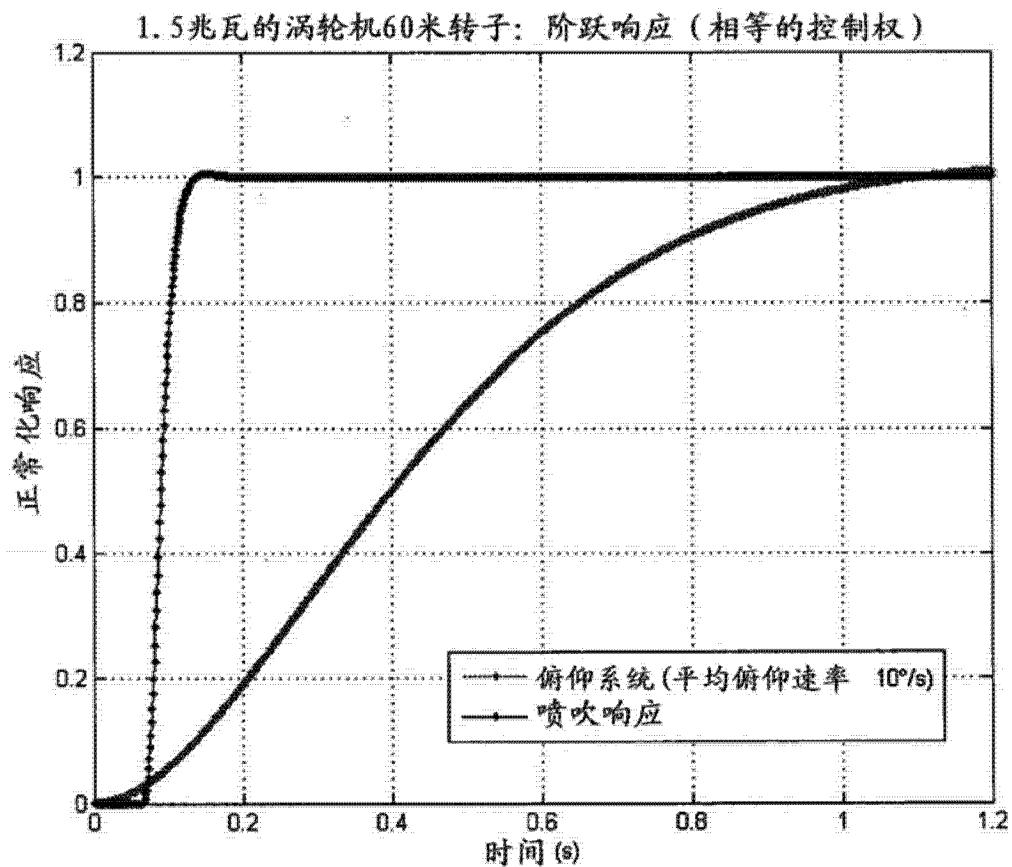


图 21

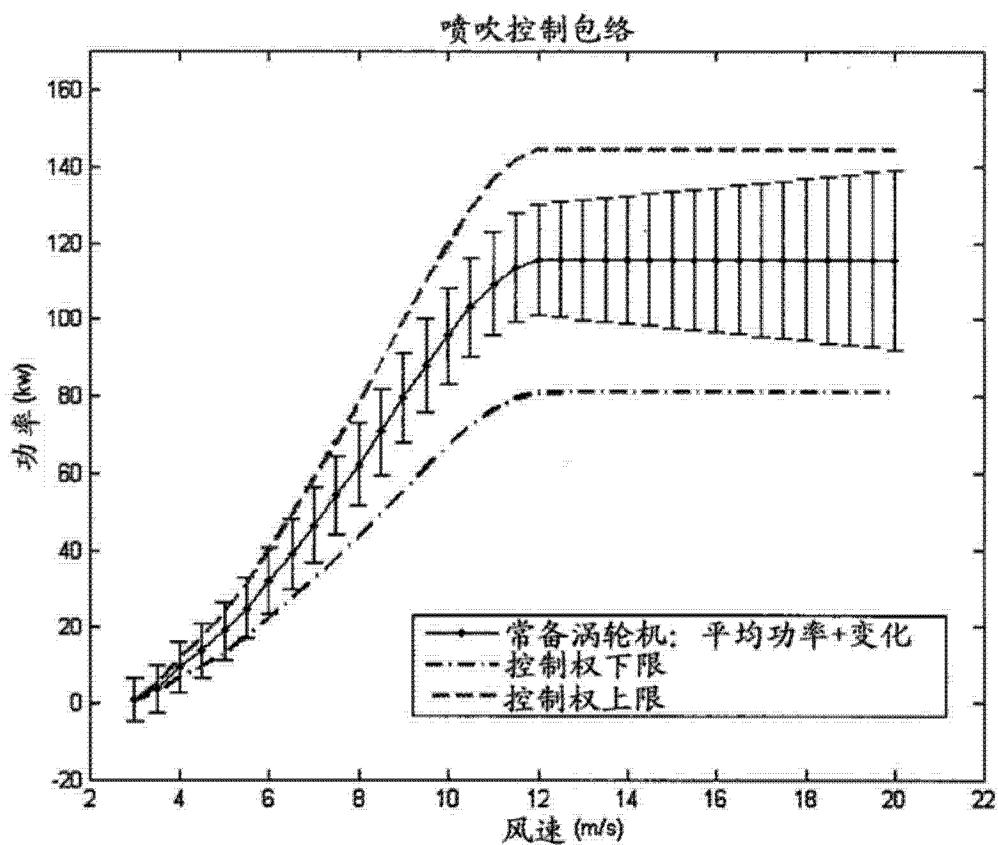


图 22

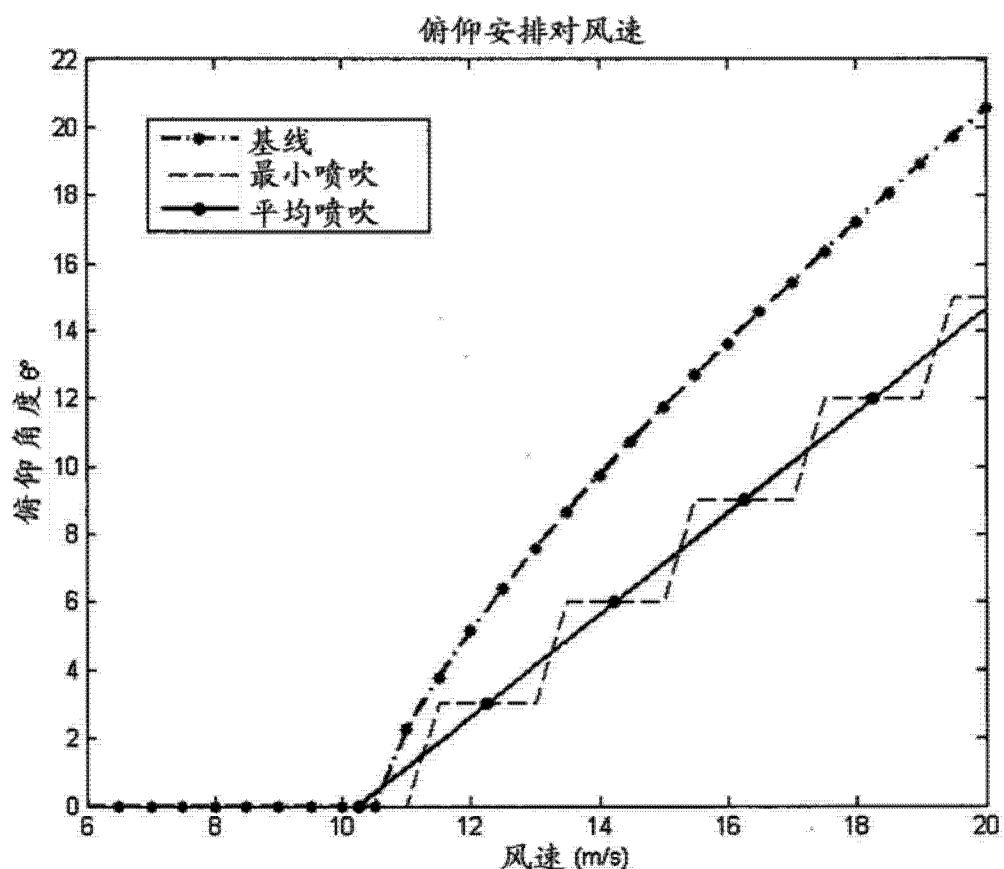


图 23

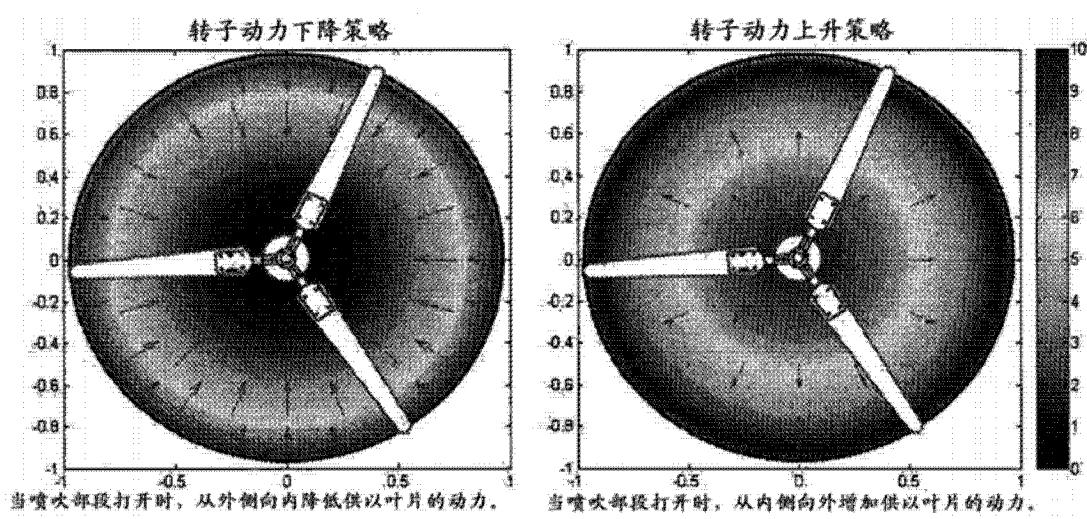


图 24