



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102312771 A

(43) 申请公布日 2012.01.11

(21) 申请号 201110192354.7

(22) 申请日 2011.06.30

(30) 优先权数据

12/829456 2010.07.02 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 P·L·B·圣地亚哥

E·Y·塞戈维亚 T·G·斯皮克贝尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 严志军 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 11/02 (2006.01)

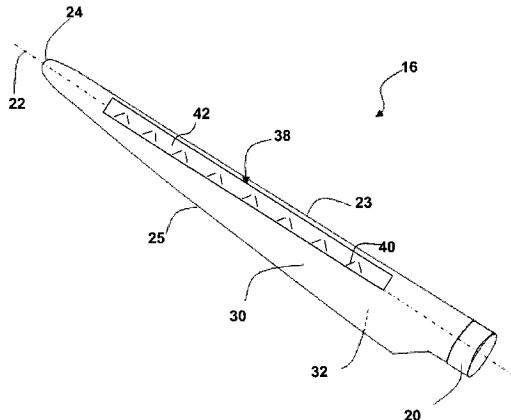
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 6 页

(54) 发明名称

具有受控制的主动流动和旋流元件的风力涡轮叶片

(57) 摘要

本发明涉及一种具有受控制的主动流动和旋流元件的风力涡轮叶片。一种风力涡轮叶片(16)包括吸力侧表面(30)和压力侧表面(32)。多个旋流元件(40)形成于吸力侧表面或压力侧表面中的至少一个上。主动流动控制系统(38)可操作地与旋流元件一起配置，以便通过旋流元件且沿着叶片表面引导加压空气。叶片的空气动力学性能通过旋流元件与主动流动控制系统的组合作用而修改。



1. 一种风力涡轮叶片 (16), 所述叶片包括 :

吸力侧表面 (30) 和压力侧表面 (32) ;

形成于所述吸力侧表面或所述压力侧表面中的至少一个上的多个旋流元件 (40); 以及

主动流动控制系统 (38), 其可操作地与所述旋流元件一起配置, 以便通过所述旋流元件且沿着所述表面向后引导加压空气;

其中, 所述叶片的空气动力学性能通过所述旋流元件与所述主动流动控制系统的组合作用而修改。

2. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (40) 为动态的, 且从凹入位置促动到突伸到所述叶片的中性表面上方的操作位置。

3. 根据权利要求 2 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (38) 由所述主动流动控制系统 (38) 供应的加压空气促动。

4. 根据权利要求 3 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述主动流动控制系统 (38) 包括在所述叶片内的加压空气歧管 (42), 所述旋流元件 (40) 与所述歧管气动连通, 使得在接通所述主动流动控制系统后所述旋流元件被促动。

5. 根据权利要求 4 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (40) 被偏压到至少部分地在所述歧管 (42) 内的所述凹入位置, 供应到所述歧管的加压空气克服所述偏压且将所述旋流元件推动到所述突伸位置。

6. 根据权利要求 5 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (40) 包括提供所述偏压的弹性构件 (48)。

7. 根据权利要求 6 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (40) 包括从中穿过的通路 (50), 通过该通路 (50), 加压空气被引导通过所述旋流元件且相对于叶片弦以所需离开角度从所述旋流元件引导出来。

8. 根据权利要求 3 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (40) 沿着铰链线 (56) 枢转, 且在所述凹入位置上靠着所述叶片表面 (30, 32) 放置, 来自所述主动流动控制系统 (38) 的所述加压空气推压所述旋流元件, 以使得所述旋流元件相对于所述叶片表面向上枢转。

9. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 所述旋流元件 (40) 是静态的且相对于所述叶片表面 (30, 32) 固定, 所述旋流元件包括穿过其而限定的空气通路 (50), 通过该空气通路 (50), 所述加压空气被引导通过所述旋流元件, 且相对于叶片弦以所需离开角度从所述旋流元件引导出来。

10. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 还包括: 多个旋流发生器 (60), 其沿着经过所述叶片表面的空气流的方向在所述多个旋流元件 (40) 下游、在越过了所述叶片的最大厚度的 60% 与 75% 之间的弦长处设置于所述叶片表面 (30, 32) 上。

11. 根据权利要求 10 所述的风力涡轮叶片 (16), 其特性在于, 还包括在越过了所述叶片的最大厚度的 75% 与 90% 之间的弦长处的另外的多个旋流发生器 (62)。

12. 一种风力涡轮 (10), 所述风力涡轮包括多个涡轮叶片 (16), 所述涡轮叶片中的至少一个根据权利要求 1 至 11 中的任一项。

13. 根据权利要求 12 所述的风力涡轮 (12), 其特性在于, 所有所述涡轮叶片 (16) 根据

权利要求 1 至 11 中的任一项。

## 具有受控制的主动流动和旋流元件的风力涡轮叶片

### 技术领域

[0001] 本发明大体而言涉及风力涡轮的领域,且更特定而言涉及具有空气动力学表面配置的涡轮叶片。

### 背景技术

[0002] 涡轮叶片是用于将风能转换成电能的风力涡轮的主要元件。叶片具有翼型截面轮廓,使得在操作期间,空气经过叶片流动,在两侧之间产生压差。因此,从压力侧朝向吸力侧导向的提升力作用于该叶片上。提升力在主转子轴上生成扭矩,主转子轴以齿轮的方式连接到用于产生电力的发电机。

[0003] 在叶片的前缘上的空气流动主要为在“附着流动”区域中的层流。提升力主要在此附着流动区域中生成。随着空气朝向叶片后缘移动,发生流动分离且空气流动过渡到“分离流动”区域,其中流动更具湍流性。流动分离取决于许多因素,诸如进来的空气流动特性(例如,雷诺数、风速、流入大气湍流等)和叶片特性(例如,翼型区段、叶片弦和厚度、扭转分布、桨距角等)。分离流动区域还导致阻力增加,这主要是由于在上游的附连流动区域与下游的分离流动区域之间的压差。

[0004] 因此,通常合乎需要的是通过增加升力、同时降低阻力来在风力涡轮正常操作期间提高能量转换效率。为此目的,有利地通过使流动分离更靠近叶片的后缘(即,在叶片的下游区域中)来增加附着流动区域且减小分离流动区域。而且,通常需要具有稳定的流动分离来提高工作稳定性且降低叶片的噪音生成。

[0005] 在本领域中已知通过在叶片表面上添加凹窝、突起或其它结构来改变风力涡轮叶片的空气动力学特性。这些结构有时被称作“旋流发生器”。这些装置通过引起边界层与外部流动的混合,从而延迟了后部流动分离、同时在更高的迎角处增加了升力且减小了阻力,来改进叶片的空气动力学性能。常规的固定式旋流发生器相对简单且实施起来较为廉价,但也可生成某种程度的阻力。固定旋流发生器的另一缺点在于最大升力是固定的。该设计因此是中风速度的提高的效率与需要通过叶片的失速调节来维持峰值功率之间的折中。旋流发生器还会在风力涡轮的运输和组装期间经受损坏。在例如 WO 2007/065434, WO 00/15961 和美国专利第 7,604,461 号中示出了静态或固定旋流发生元件的实例。

[0006] 还已知相对于叶片表面部署的可缩回的或枢转的旋流发生器。例如参考美国专利第 4,039,161 号、美国专利第 5,253,828 号、美国专利第 6,105,904 号、美国专利第 6,427,948 号、美国专利第 7,293,959 号、EP1896323B1 和 WO2007/005687。

[0007] 在本领域中还已知通过以倾斜角向叶片的表面上的边界层流动内引入脉动或连续的加压空气供应来提高叶片或翼型件的空气动力学性能。这种扩大的空气倾向于夹带边界层且延迟流动分离的开始。净效应为叶片表面上的增加的流量且伴有升力增加,如同旋流发生器的情况。这种原理在本领域中通常被称作“循环控制”、“主动循环控制”或“主动流动控制”。在风力涡轮应用中,循环控制典型地通过推动加压空气进入管内且从叶片中的槽出来而工作。参考例如美国专利申请第 2010/0104436 号和美国专利申请第 2007/0231151

号。

[0008] 尽管在所引用的参考文献中讨论的旋流发生器和流动循环系统提供了独特的空气动力学特性,但该行业将受益于在单个构件中有效地利用两种概念的组合的涡轮叶片,而不会不利地增加叶片的成本或复杂性。

## 发明内容

[0009] 本发明的方面和优点将在下文的描述中部分地陈述,或者可从该描述显而易见,或者可通过实践本发明而学习。

[0010] 根据本发明的方面,提供一种风力涡轮叶片,其具有吸力侧表面和压力侧表面。多个动态的旋流元件形成于这些表面中的任一个或两个上。主动流动控制系统可操作地与旋流元件一起配置,以便通过旋流元件且沿着叶片的表面向后引导加压空气。叶片的空气动力学性能因此通过旋流元件与主动流动控制系统的组合作用而修改。

[0011] 在一特定实施例中,旋流元件为动态的且从缩回位置促动到突伸到叶片的中性表面上方的操作位置。旋流元件可由主动流动控制系统供应的加压空气促动。举例而言,在一实施例中,主动流动控制系统可包括在叶片内的加压空气歧管,且旋流元件与该歧管气动连通,使得在接通主动流动控制系统和歧管加压时旋流元件被促动。

[0012] 旋流元件可被偏压到至少部分地在歧管内的缩回位置,且供应到歧管的加压空气克服该偏压且将旋流元件推动到其相对于叶片表面的促动的突伸位置。旋流元件可由任何合适的机构偏压,诸如弹性构件、弹簧等等。

[0013] 在一种独特配置中,旋流元件包括通路,加压空气通过该通路被引导。旋流元件的通路和方位使得加压空气在旋流元件的位置处相对于局部叶片弦以所需离开角离开该元件。

[0014] 在另外的又一独特实施例中,旋流元件沿着铰链线枢转,且在其缩回位置上靠着叶片表面基本上平坦地放置。在启动主动流动控制系统时,加压空气推压旋流元件且使得该元件相对于叶片表面向上枢转。

[0015] 关于另外的再一实施例,旋流元件为静态的,并且相对于叶片表面固定且包括穿过其而限定的空气通路,通过该空气通路,加压空气被引导通过旋流元件,且相对于局部叶片弦以所需离开角度从旋流元件引导出来。

[0016] 根据本发明的方面的叶片的空气动力性能可进一步通过包括沿经过叶片表面的空气流的方向在该多个旋流元件的下游设置在叶片表面上的多个旋流发生器而修改。在一特定实施例中,这些装置可为静态的静叶,其在越过叶片的最大厚度的所需局部弦长处突伸到叶片的中性表面上方。

[0017] 本发明还包括具有一个或多个涡轮叶片的风力涡轮,涡轮叶片被配置成具有如本文所述的旋流元件和主动控制系统。

[0018] 参考下文的描述和所附权利要求,本发明的这些和其它特征、方面和优点将会得到更好的理解。结合于本说明书中并构成本说明书的一部分的附图示出了本发明的实施例,且与描述一起用于解释本发明的原理。

## 附图说明

[0019] 在参照了附图的说明书中阐述了本发明的对于本领域普通技术人员而言完整并可实施的公开内容,包括其最佳模式,在附图中:

- [0020] 图1是常规风力涡轮的透视图;
- [0021] 图2是根据本发明的方面的风力涡轮叶片的一实施例的透视图;
- [0022] 图3是风力涡轮叶片的一实施例的侧视剖视图;
- [0023] 图4是图3的叶片的侧视剖视图,其中旋流元件被促动到展开状态;
- [0024] 图5是风力涡轮叶片的一实施例的侧视示意图;
- [0025] 图6是处于缩回位置、压力歧管内的旋流元件的一特定实施例的侧视示意图;
- [0026] 图7是图6的旋流元件处于突伸操作位置的侧视示意和操作图;
- [0027] 图8是与压力歧管一起配置的旋流元件的一实施例的透视图;
- [0028] 图9是与压力歧管一起配置的旋流元件的一备选实施例的透视图;
- [0029] 图10是图8的实施例的透视操作图;以及
- [0030] 图11是与压力歧管一起配置的静态旋流元件的一实施例的透视操作图。
- [0031]

## 附图标记

## 构件

10	风力涡轮
12	塔架
14	机舱
16	涡轮叶片
18	转子毂
20	根部
22	轴线
23	前缘
24	尖端
25	后缘
30	吸力侧表面
32	压力侧表面
34	翼梁帽
36	腹板
38	AFC系统
40	旋流元件
42	歧管
44	开口
46	供应端口
48	弹性构件
50	通路
52	侧部出口
54	顶部出口
56	铰链线
58	排放孔
60	旋流发生器

[0032]

## 具体实施方式

[0033] 现将详细地参考本发明的实施例，其一个或多个实例在附图中示出。以解释本发明而非限制本发明的方式提供各个实例。实际上，对于本领域技术人员将显而易见的是，在不偏离本发明的范围或精神的情况下可在本发明中做出各种修改和变型。举例而言，作为一个实施例的部分示出或描述的特征可用于另一实施例以得到又一实施例。因此，预期本发明包括属于所附权利要求和其等效物的范围内的这样的修改和变型。

[0034] 图 1 示出了具有常规构造的风力涡轮 10。风力涡轮 10 包括塔架 12 与安装于其上的机舱 14。多个涡轮叶片 16 安装于转子毂 18 上，而转子毂 18 又连接到主凸缘上，主凸缘转动主转子轴。风力涡轮发电和控制构件容纳于机舱 14 内。提供图 1 的视图只是出于说明目的，以便将本发明置于示范性使用领域。应了解本发明并不限于任何特定类型的风力涡轮配置。

[0035] 图 2 至图 4 描绘了结合了本发明的方面的风力涡轮叶片 16 的各种实施例。叶片 16 包括限定于前缘 23 和后缘 25 之间的吸力侧表面 30 和压力侧表面 32。翼梁帽 34 和相关联的腹板 36 与叶片 16 一体地提供。多个旋流元件 40 以任何所需型式形成于表面 30 和 32 中的任一个或两个上。在图 2 所示的实施例中，旋流元件 40 被描绘为在吸力侧 30 上且被布置成使得成对的元件 40 限定大体上楔形的配置，其中该对中的单独的元件生成反向旋转的旋流。在一备选实施例中，旋流元件 40 可以相同角方位（如在图 8 和图 11 中）限定于叶片表面上，以便生成同向旋转的旋流。

[0036] 还应了解，单独的旋流元件 40 的特定形状并非限制因素。元件 40 可具有翅片形、楔形、翼型以及被确定适用于修改叶片的空气动力学特性的任何其它形状。

[0037] 上面形成有旋流元件 40 的叶片 16 的表面 30、32 具有“中性”面，其对应于限定于旋流元件 40 之间的叶片的平滑表面。举例而言，参看图 3，旋流元件 40 处于表面 30 的中性面下方的缩回位置。在图 4 中，旋流元件 40 处于操作位置，在该位置，其突出于表面 30 的中性面上方。

[0038] 在例如图 3 至图 10 所示的特定实施例中，旋流元件 40 为“动态的”，因为它们从图 3 所示的缩回位置被启动或展开到如图 4 和图 5 所示的操作位置，其中旋流元件 40 突出于表面 30、32（旋流元件 40 形成于其中）的中性面上方。旋流元件 40 可由任何合适的器件促动，包括电子器件、气动器件、液压器件等。在附图中所示的实施例中，旋流元件 40 由主动流动控制系统（大体上为 38）供应的加压空气促动。换言之，典型地在常规主动流动控制系统中被引导经过叶片表面的加压空气还用于促动旋流元件 40。为了实现这种情况，在一实施例中，主动流动控制系统 38 可包括空气歧管 42，其在主动流动控制系统 38 开启时被供应加压空气。旋流元件 40 与歧管 42 气动连通，使得在接通该主动流动控制系统 38 时旋流元件 40 由供应到歧管 42 的加压空气促动。

[0039] 应了解，主动流动控制系统 38 可包括在附图中未图示或在本文中未详细描述的任何形式的额外控制构件。举例而言，主动流动控制系统 38 可包括任意数量的传感器，其大体上关于风力涡轮 10 而配置，且特别地关于各个叶片 16 而配置。这些传感器可检测叶片 16 所经历的任何形式的参数，诸如负载、风强度和风向、失速等。传感器可向反馈控制回路提供输入信号，反馈控制回路用于作为所感测的参数的函数来开启和关断主动流动控制系统

38。用于主动流动控制系统的控制系统是本领域中已知的且无需在此处详细地描述。例如，作为可被修改以用于本发明的控制系统的实例，参考美国专利申请公开第 2006/0140760 号。

[0040] 图 6 和图 7 描绘了用于促动旋流元件 40 的歧管 42 和相关联的构件的特定配置。在此实施例中，歧管 42 被限定为通道状部件，其可嵌入于叶片 16 内，例如在翼梁帽 34 内使得歧管 42 的顶面基本上位于叶片表面的中性面中，如大体上在图 2 中描绘。在其缩回（未促动）位置，旋流元件 40 至少部分地位于歧管 42 的内空间内，如大体上在图 6 中描绘。提供任何形式的供应端口 46 或用于将加压空气引入到歧管 42 内的其它器件。在图示实施例中，加压空气被引入到旋流元件 40 下方的歧管 42 内的空间内。参看图 7，引入到此空间内的加压空气使旋流元件 40 在歧管 42 内被向上推动，使得旋流元件 40 的操作部延伸通过歧管 42 的顶部中的开口 44。开口 44 可（例如）为槽或类似开口，其具有足以允许旋流元件 40 的叶片或翅片部延伸经过叶片 16 的表面且突伸到叶片 16 的表面上方的尺寸。

[0041] 仍参看图 6 和图 7，可由任何合适的偏压器件，诸如弹簧、悬臂等等将旋流元件 40 偏压到歧管 42 内的它们的缩回位置。在图示实施例中，由弹性构件 48 供应偏压，弹性构件 48 附连到旋流元件 40 的底部且附连到歧管 42 的侧壁，以便基本上限定在旋流元件 40 下方的加压体积。如在图 7 中所描绘，加压空气使得弹性构件 48 向外胀大或膨胀，从而穿过开口 44 展开所附连的旋流元件 40。在终止加压空气到歧管 42 的供应时，弹性构件 48 缩回且使得旋流元件 40 收回到歧管 42 内，如图 6 所描绘。应了解，任意数量的合适的偏压和缩回配置可用于此目的。

[0042] 旋流元件 40 包括通路 50，加压空气通过通路 50 被引导，以实施该系统的主动流动控制构件。就此而言，旋流元件 40 可被认为是用于加压的主动流动空气的喷嘴或其它分配器。此通路 50 在附图中显示为在旋流元件 40 的内部且包括出口 52。如图 4 和图 5 所示，加压空气（图示为实线箭头）通过开口 52 离开旋流元件 40 以便经过叶片 16 的表面流向后缘 25。通路 50、出口开口 52 和旋流元件 40 的角方位确保了在旋流元件 40 的位置处相对于局部叶片弦以所需倾斜离开角引导主动流动控制空气。此离开角被设计成使得主动流动控制气体产生延长沿着叶片表面的流动分离所需的期望旋流。

[0043] 图 9 和图 10 示出另一独特实施例，其中旋流元件 40 由来自动流动控制系统 38 的加压空气促动到操作位置。在此实施例中，旋流元件 40 沿着任何类型的合适的铰链线 56 相对于歧管 42 的上表面枢转。铰链机构使得旋流元件 40 偏压到图 9 所示的缩回位置，在此位置，它们靠着歧管表面基本上平坦地放置。旋流元件 40 中的各个覆盖在孔口或端口 58 上面。参看图 10，在加压空气经由端口 46 或其它供应管线被引入到歧管 42 内时，加压空气经由孔口 58 离开歧管 42，这使得旋流元件 40 相对于铰链线 56 枢转到其突伸的操作位置，如图 10 所示。一旦终止了加压空气，旋流元件 40 就缩回到图 9 所示的状态。从此特定实施例应了解，使旋流元件 40 促动的加压空气的通路并不在旋流元件 40 的内部，而是邻近旋流元件 40 限定。尽管在图 9 和图 10 中未特别地详细示出，旋流元件 40 可包括任何形式的结构，其改变离开孔口 58 的空气的方向，以便相对于叶片表面沿切向流动。

[0044] 再次参看图 7，除了侧部出口 52 以外，旋流元件 40 可包括顶部出口 54。在某些情形中，可能在一些或所有旋流元件 40 上需要此顶部出口 54，以产生特定的空气动力学修改。

[0045] 还应了解，本发明包括其中旋流元件 40 为“静态”且相对于叶片表面固定于其操作突伸位置的实施例。例如，在图 11 中示出了此类型配置的一个实施例。在此实施例中，旋流元件 40 仍包括通路 50，通路 50 在旋流元件 40 的相应位置相对于叶片的局部弦以所需离开角对来自歧管 42 的加压空气重新定向。对于此特定配置，尽管旋流元件 40 并非动态的或由加压空气促动，元件 40 仍起到旋流发生器以及主动流动控制系统空气的喷嘴或分配器的功能。

[0046] 特别地参看图 5，根据本发明的方面的叶片 16 还可包括在经过叶片表面的空气流的方向中处于旋流元件 40 下游的额外旋流发生器 60、62（静态或固定）。举例而言，旋流发生器 60、62 可相对于旋流元件 40 更靠近叶片 16 的后缘 25 而设置。这些额外的旋流发生器可包括第一组多个（旋流发生器）60，它们在越过叶片的最大厚度的大约 60% 到大约 75% 之间的弦长处突出于叶片的中性表面上方。另外的多个旋流发生器 62 可包括于越过叶片的最大厚度的大约 75% 至大约 90% 之间的弦长处。在某些条件下，这些额外旋流发生器 60、62 可结合旋流元件 40 和主动流动控制系统空气的效果来增强叶片的空气动力学性能。

[0047] 图 3 示出叶片 16，其中主动流动控制系统关断且旋流元件 40 缩回到歧管 42 内。歧管 42 在翼梁帽 34 和支承腹板 36 的区域中嵌入于叶片内。虚线指示经过了叶片的前缘 23 而朝向后缘 25 的空气流。流动分离发生于前缘 23 与后缘 25 之间的弦长处。图 4 示出相同的叶片 16，其中主动流动控制系统开启，使得加压空气促动旋流元件 40 且也在叶片 16 的表面 30 上引导。如图 4 所描绘，空气流动的流动分离点被延长且移动至更靠近后缘 25。因此，叶片 16 生成更大升力。

[0048] 图 5 示出图 4 所描绘的叶片，其中邻近后缘 25 添加了旋流发生器 60、62。如由图 5 中的虚线示意性地示出，这些旋流发生器 60、62 可延长流动分离的开始，甚至比图 4 中的叶片更远，从而利用叶片 16 生成进一步更多的升力。

[0049] 虽然关于具体示范性实施例和其方法详细地描述了本主题，但将了解，在获得了对前文内容的理解后，本领域技术人员可易于做出对这些实施例的更改、变型和等效物。因此，本公开的范围是作为举例说明的而并非作为限制的，且本主题公开并不排除包括对于本领域普通技术人员而言将容易明白的本主题的这些修改、变型和 / 或添加。

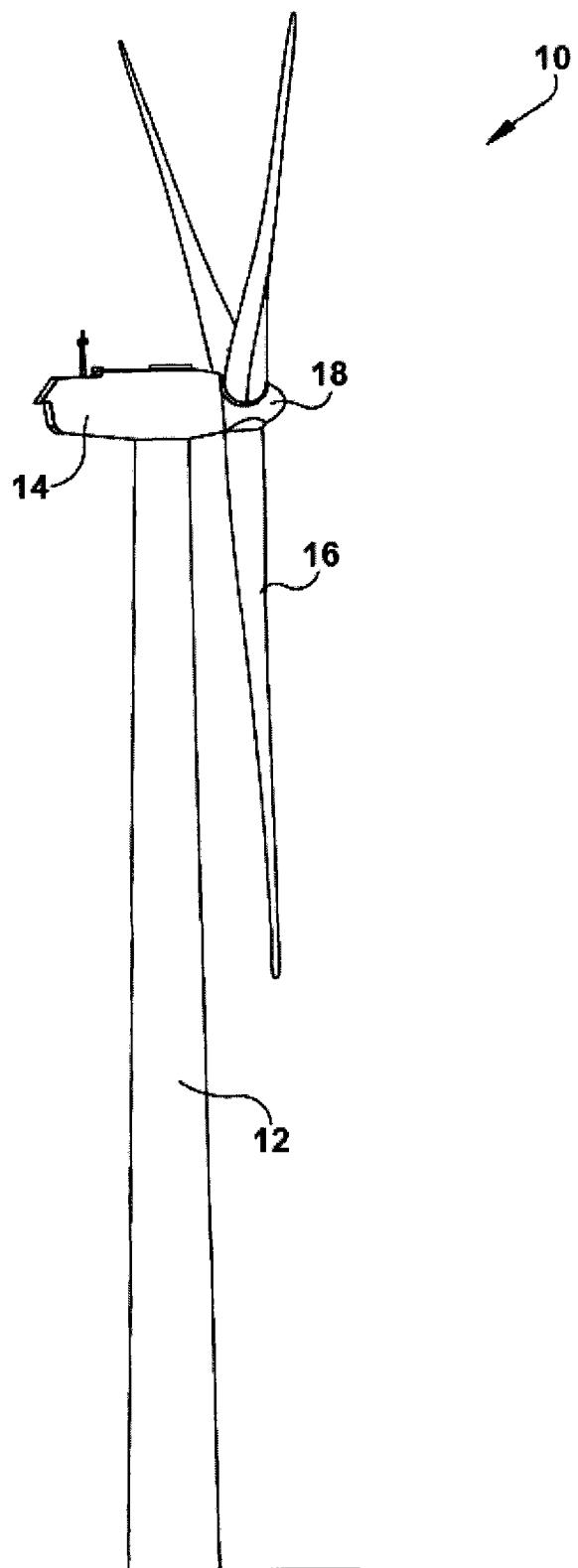


图 1

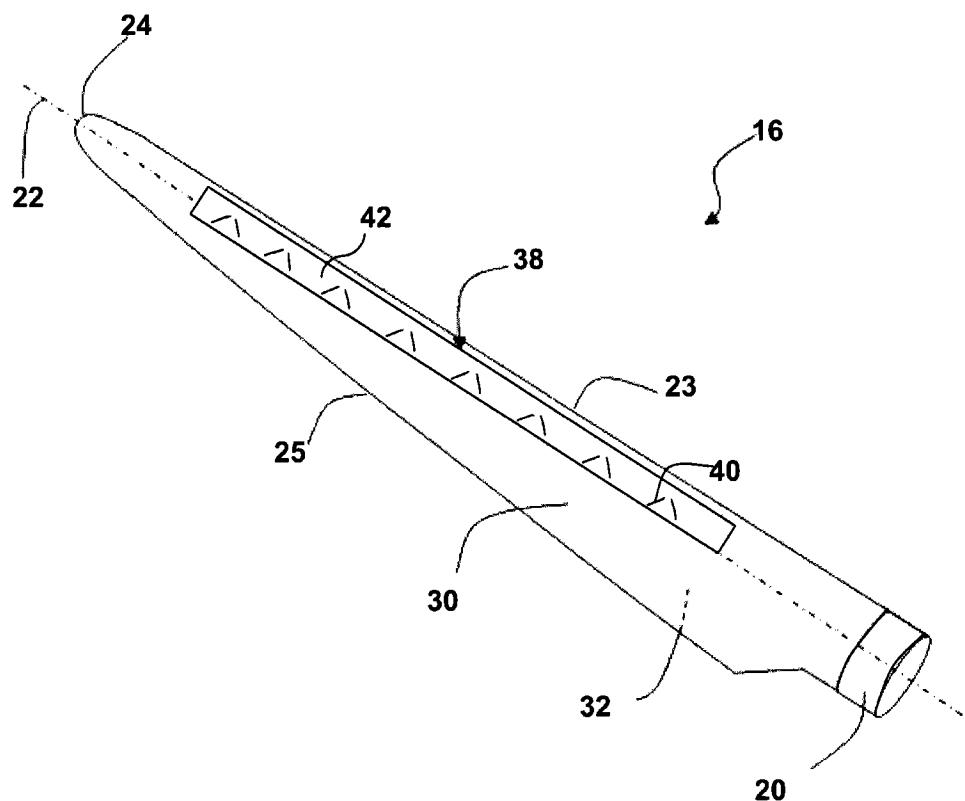


图 2

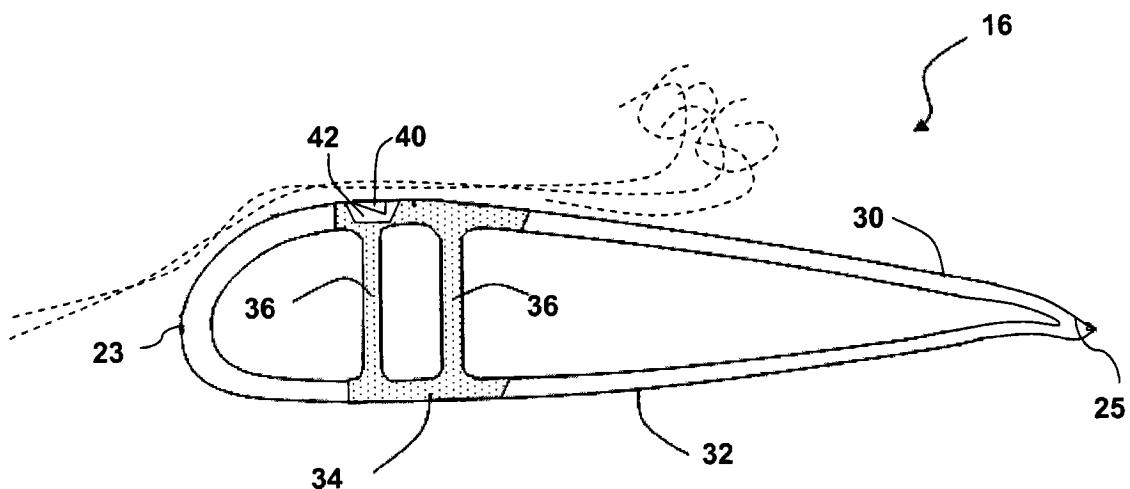


图 3

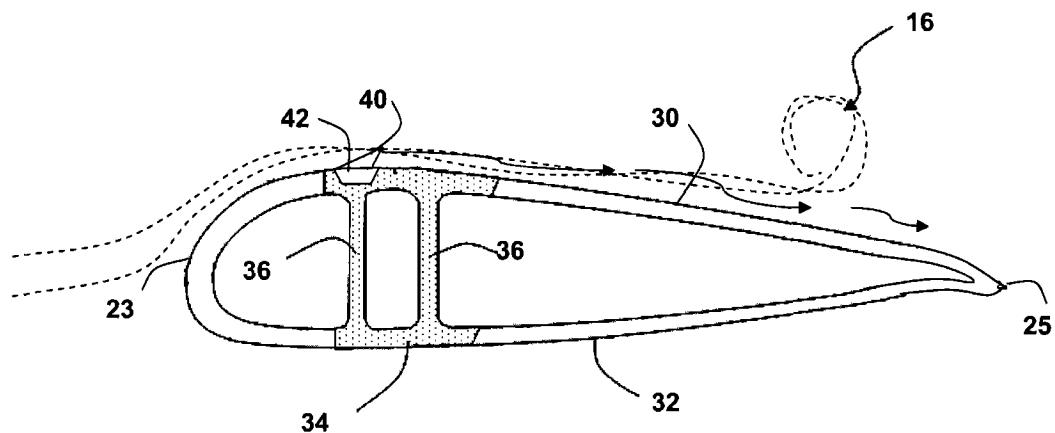


图 4

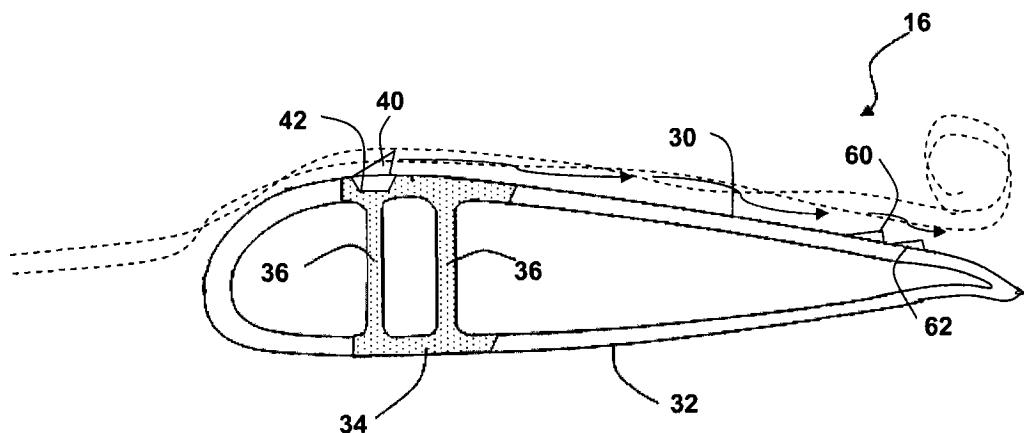


图 5

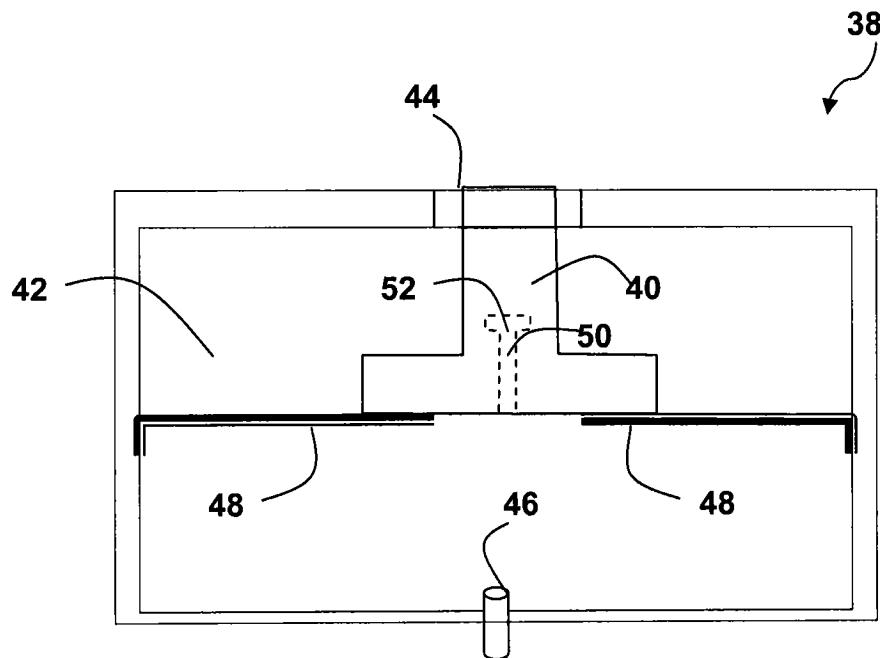


图 6

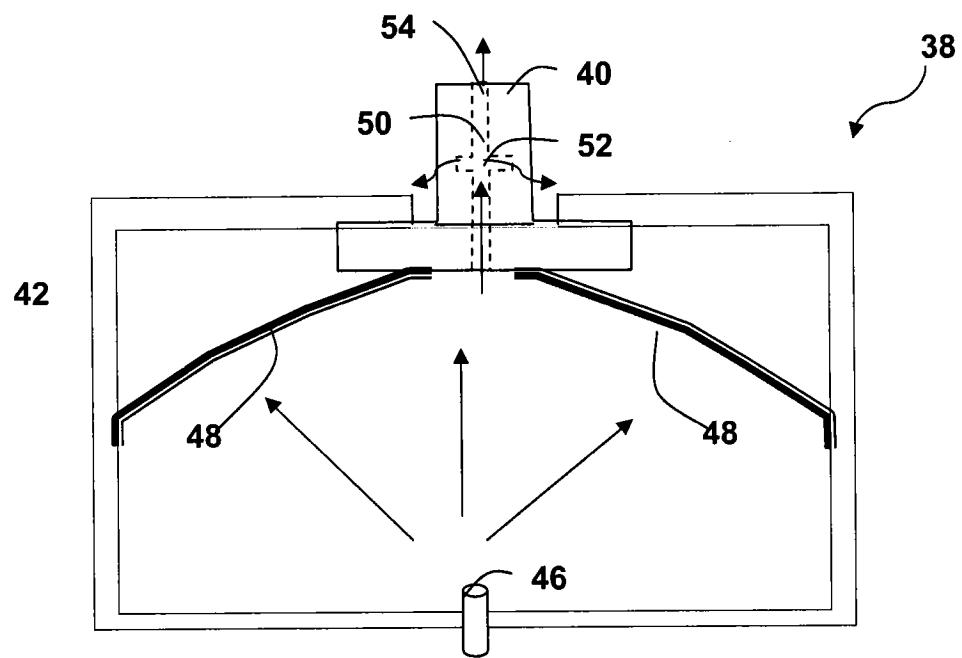


图 7

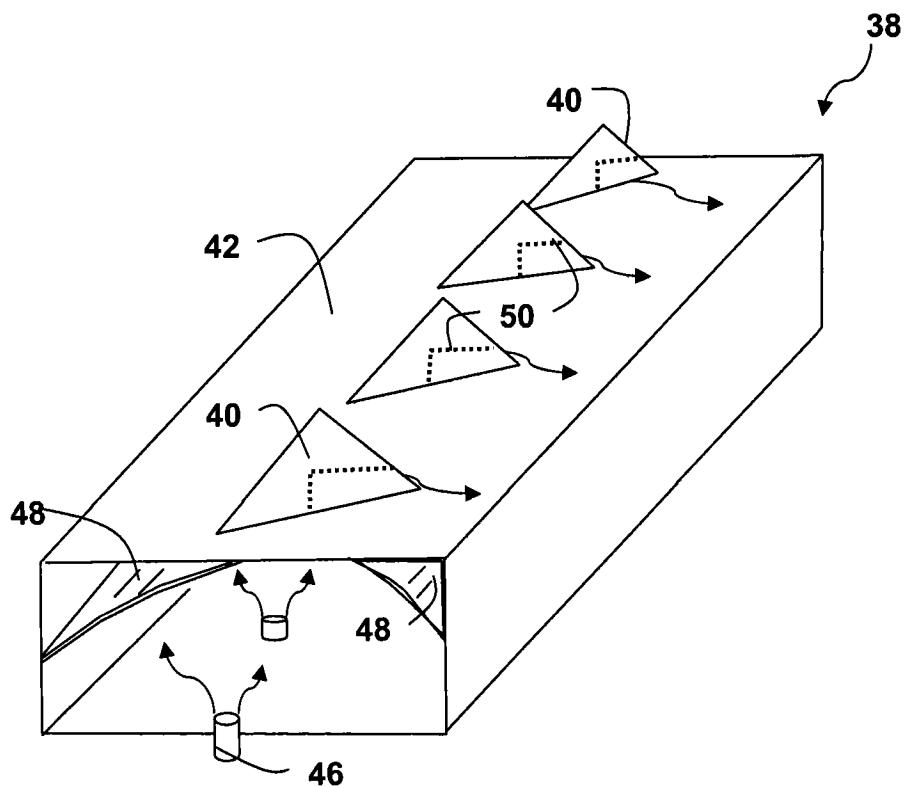


图 8

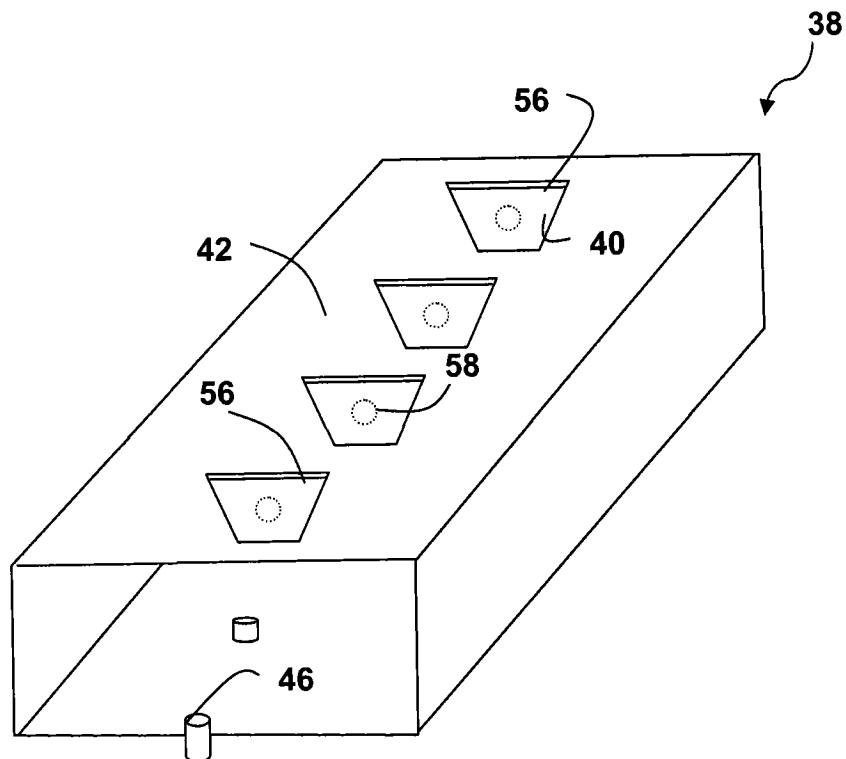


图 9

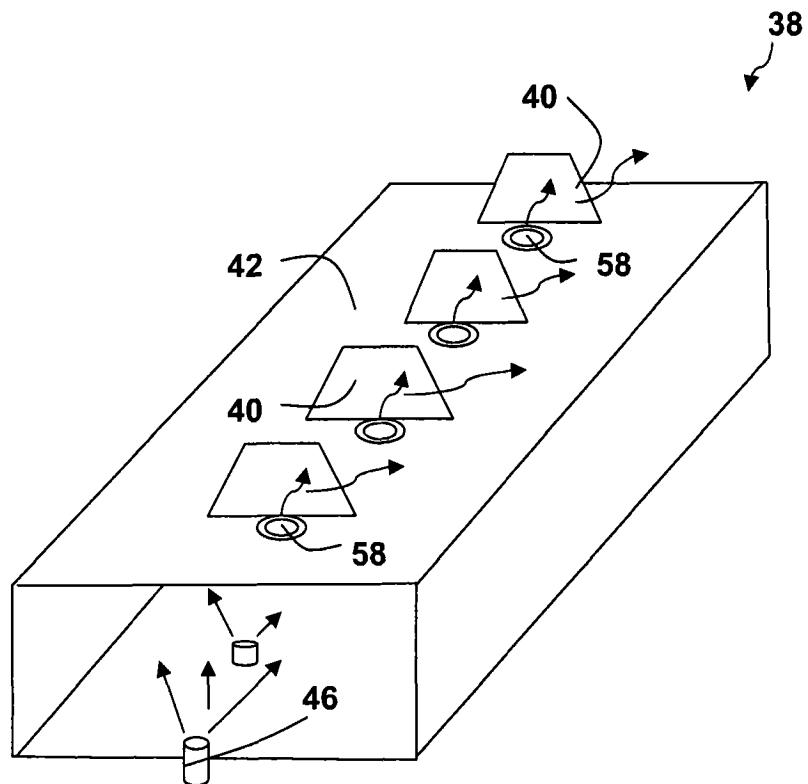


图 10

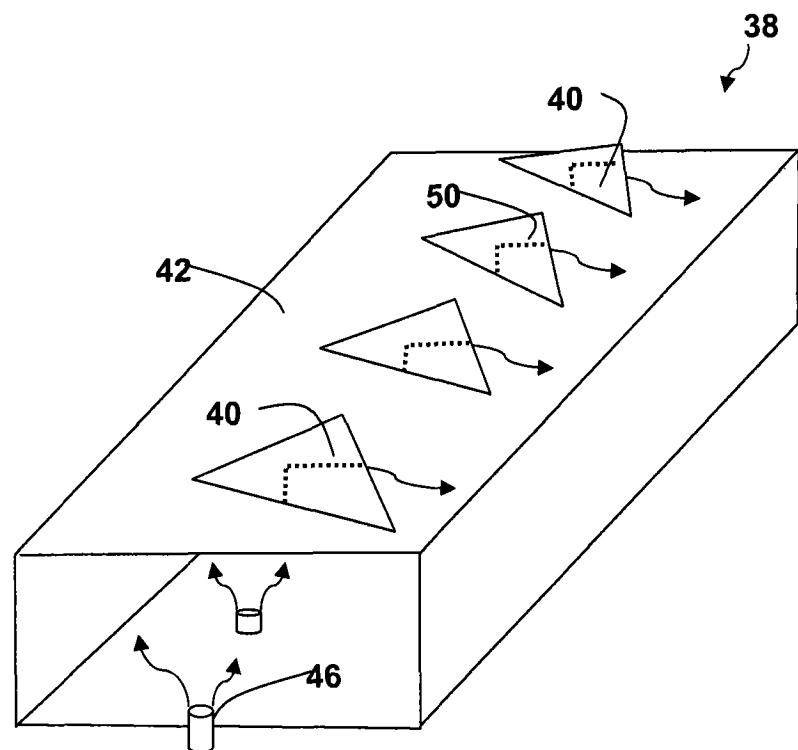


图 11