

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102884311 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201180009842. 8

代理人 李春晖 王娜丽

(22) 申请日 2011. 02. 16

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

F03D 7/06 (2006. 01)

61/304, 842 2010. 02. 16 US

F03D 3/06 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 08. 16

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IL2011/000165 2011. 02. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02011/101847 EN 2011. 08. 25

(71) 申请人 技术研究及发展基金有限公司

地址 以色列海法

(72) 发明人 大卫·格林布拉特 本雅明·萨松

马根·舒尔曼

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

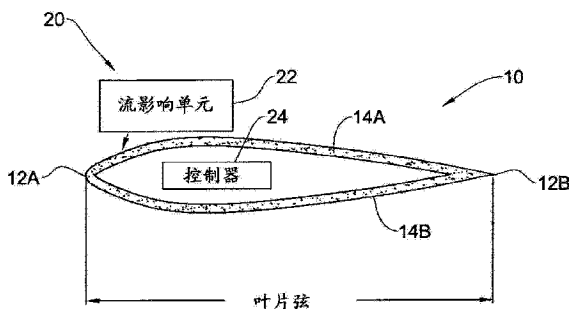
权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 17 页

(54) 发明名称

对垂直轴风力涡轮机(VAWT)的流控制

(57) 摘要

提出了一种用于对垂直轴风力涡轮机 VAWT 的操作进行控制的控制系统,垂直轴风力涡轮机用于从到来的流体流中生成能量。所述控制系统包括与 VAWT 的至少一片叶片相关联的至少一个流影响装置以及连接至所述流影响装置的控制单元,所述流影响装置包括以在所述叶片前缘处的方式分别位于叶片的相对两侧中的两个流影响单元,每个流影响单元可操作以在叶片的相应一侧处产生吹射流由此引起流体流动量的增加,所述控制单元被配置并且可操作以根据预定的时间模式以交替的方式选择性地激活流影响单元从而是吹射流在叶片的相对侧处振荡。



1. 一种用于对垂直轴风力涡轮机 VAWT 的操作进行控制的控制系统,所述垂直轴风力涡轮机用于从到来的流体流中生成能量,所述控制系统包括与所述 VAWT 的至少一片叶片相关联的至少一个流影响装置以及连接至所述流影响装置的控制单元,所述流影响装置包括两个流影响单元,所述两个流影响单元在所述叶片的前缘处分别位于所述叶片的相对两侧,每个所述流影响单元能够操作以在所述叶片的相应一侧产生吹射流,由此引起流体流动量的增加,所述控制单元被配置并且能够操作以根据预定的时间模式以交替方式选择性地激活所述流影响单元,从而使所述吹射流在所述叶片的所述相对两侧振荡。

2. 根据权利要求 1 所述的控制系统,其中,所述流影响装置包括电极装置,所述电极装置限定了与所述叶片的所述相对两侧相关联的两对电极,所述控制单元被配置并且能够操作以选择性地激活所述两对电极,以在所述叶片的相应一侧附近产生等离子体射流形式的所述吹射流。

3. 根据权利要求 2 所述的控制系统,其中,所述电极装置包括:位于所述叶片的所述相对两侧且与所述流体流屏蔽开的两个电极,以及位于所述叶片的所述前缘处、在所述两个电极之间且间隔开所述两个电极以及暴露于所述流流体的电极,所述被屏蔽的两个电极中的每一个电极与所述暴露的电极分别形成所述两对电极中的相应一对电极。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的控制系统,其中,所述时间模式使得当迎角满足预定条件时所述流影响单元中的至少一个是激活的。

5. 根据权利要求 4 所述的控制系统,其中,所述预定条件限定了所述迎角与失速角之间的关系。

6. 根据权利要求 5 所述的控制系统,其中,当所述控制单元确定在旋转的 VAWT 中所述叶片的速度和位置符合所述迎角大于所述失速角的条件时,所述控制单元操作所述流影响单元中的至少一个,并且当所述控制单元确定所述迎角变得小于所述失速角时,所述控制单元停止该流影响单元。

7. 根据权利要求 4 至 6 中任一项所述的控制系统,其中,所述流影响单元为下述槽的形式,所述槽基本在所述叶片的所述前缘处,制成在所述叶片的相应一侧上,所述控制单元被配置并且能够操作以使所述流体流经由在所述叶片的一侧中制成的入口和所述槽而流经空心的所述叶片。

8. 根据权利要求 4 至 6 中任一项所述的控制单元,其中,所述流影响单元为下述槽的形式,所述槽基本在所述叶片的所述前缘处,制成在所述叶片的相应一侧上,所述控制单元包括振荡阀,所述振荡阀能够以能够控制的方式操作,以将所述槽中的每个槽在其闭合位置与其开放位置之间选择性地转换。

9. 根据权利要求 4 至 6 中任一项所述的控制系统,其中,所述流影响单元为下述涡流发生器的形式,所述涡流发生器能够相对于所述叶片的相应一侧在所述涡流发生器的第一位置与第二位置之间转换,所述涡流发生器在所述第一位置时对所述流体流不起作用,而所述涡流发生器在所述第二位置时起作用从而与所述流体流相互作用并引起所述流体流动量的增加。

10. 根据权利要求 4 至 9 中任一项所述的控制系统,包括:位置检测器,所述位置检测器能够操作以检测所述叶片在所述涡轮机旋转时沿圆形路径的速度和位置,并产生分别表示所述叶片速度和所述叶片位置的速度数据和位置数据;流检测器,所述流检测器用于检

测所述流体流相对于所述叶片的速度和方向,并且用于产生分别表示所述流速度和所述流方向的流速度数据和流方向数据;以及处理器应用,其响应于所述叶片速度数据、所述叶片位置数据、所述流速度数据以及所述流方向数据以监测所述迎角的状况,并且当识别所述预定条件时,为所述流影响单元中的至少一个生成控制信号。

11. 一种用于对垂直轴风力涡轮机 VAWT 的操作进行控制的控制系统,所述垂直轴风力涡轮机用于从到来的流体流中生成能量,所述控制系统包括与所述 VAWT 的至少一片叶片相关联的至少一个流影响装置以及连接至所述流影响装置的控制单元,所述流影响装置包括在所述叶片的前缘处位于所述叶片的至少一侧上的至少一个流影响单元,所述流影响单元能够操作以在所述叶片的相应一侧产生吹射流,由此引起流体流动量的增加,所述控制单元被配置并且能够操作以根据预定的时间模式选择性地激活所述至少一个流影响单元从而使所述吹射流振荡。

12. 根据权利要求 11 所述的控制系统,其中,所述时间模式使得当迎角满足预定条件时,所述至少一个流影响单元是激活的。

13. 根据权利要求 12 所述的控制系统,其中,所述预定条件限定了所述迎角与失速角之间的关系。

14. 根据权利要求 13 所述的控制系统,其中,当所述控制单元确定在旋转的 VAWT 中所述叶片的速度和位置符合所述迎角大于所述失速角的条件时,所述控制单元操作所述至少一个流影响单元,并且当所述控制单元确定所述迎角变得小于所述失速角时,所述控制单元停止该流影响单元。

15. 根据权利要求 11 至 14 中任一项所述的控制系统,其中,所述时间模式使得当所述叶片的相应一侧相对于所述流体流是下风向方位时所述至少一个流影响单元是激活的。

16. 根据权利要求 11 至 15 中任一项所述的控制系统,其中,所述流影响单元为下述槽的形式,所述槽基本在所述叶片的所述前缘处,制成在所述叶片的相应一侧上,所述控制单元被配置并且能够操作以使所述流体流经由在所述叶片的一侧中制成的入口和所述槽而流经空心的所述叶片。

17. 根据权利要求 11 至 15 中任一项所述的控制单元,其中,所述流影响单元为下述槽的形式,所述槽基本在所述叶片的所述前缘处,制成在所述叶片的相应一侧上,所述控制单元包括振荡阀,所述振荡阀能够以能够控制的方式操作以将所述槽在其闭合位置与其开放位置之间选择性地转换。

18. 根据权利要求 11 至 15 中任一项所述的控制系统,其中,所述流影响单元为下述涡流发生器的形式,所述涡流发生器能够相对于所述叶片的相应一侧在所述涡流发生器的第一位置与第二位置之间转换,所述涡流发生器在所述第一位置时对所述流体流不起作用,而所述涡流发生器在所述第二位置时起作用从而与所述流体流相互作用并引起所述流体流动量的增加。

19. 根据权利要求 11 至 18 中任一项所述的控制系统,包括:叶片检测器,所述叶片检测器能够操作以检测所述叶片在所述涡轮机旋转时沿圆形路径的速度和位置并产生分别表示所述叶片速度和所述叶片位置的叶片速度数据和叶片位置数据;流检测器,所述流检测器用于检测所述到来的流体流相对于所述叶片的速度和方向并且用于产生分别表示流速度和流方向的流速度数据和流方向数据;以及处理器应用,其响应于所述叶片速度数据、

所述叶片位置数据、所述流速度数据以及所述流方向数据以监测所述迎角的状况,并当识别所述预定条件时给所述流影响单元中的至少一个生成控制信号。

20. 根据权利要求 11 至 19 中任一项所述的控制系统,其中,所述处理器应用响应于所述叶片速度数据、所述叶片位置数据、所述流速度数据以及所述流方向数据,以确定与所述叶片的带有所述流影响单元的所述侧的下风向方位对应的所述叶片位置,并且在所述叶片的所述侧的所述下风向方位期间激活所述流影响单元。

21. 根据前述权利要求中任一项所述的控制系统,其中,所述时间模式限定了用于所述至少一个流影响单元的操作的时间间隔,所述时间间隔对应于与所述流影响单元相关联的叶片侧的下风向定向。

22. 根据权利要求 21 所述的控制系统,其中,所述时间间隔对应于所述叶片的下述位置:所述位置为在所述 VAWT 的圆形路径的相对于所述流体流方向的上风向部分中。

23. 一种用于从到来的流体流中生成能量的垂直轴风力涡轮机 VAWT,所述 VAWT 包括被安装以沿圆形路径旋转的至少一片叶片以及根据前述权利要求中任一项所配置的系统。

24. 一种用于对从到来的流体流中生成能量的垂直轴风力涡轮机 VAWT 的操作进行控制的方法,其中,所述 VAWT 包括至少一片叶片,所述至少一片叶片具有与至少一个能够控制的流影响装置相关联的至少一个激活侧,所述方法包括:

监测所述到来的流体的速度和方位;

监测旋转的所述 VAWT 的所述至少一片叶片的速度和方位;

对表示所述到来的流体的速度和方位的数据以及表示所述至少一片叶片的速度和方位的数据进行分析,并且确定所述叶片相对于所述到来的流体的方位以及迎角;以及

当确定所述激活侧相对于所述到来的流体流是下风向方位并且所述迎角满足预定条件时,选择性地操作所述至少一个能够控制的流影响装置以增加所述流体流的在所述激活侧上的第一部分的动量。

25. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述叶片包括相对于所述叶片的弦彼此相对的两个激活侧。

26. 根据权利要求 25 所述的方法,还包括:控制所述两个激活侧的操作以确保当在所述激活侧之一上的所述流影响装置起作用时,在相对侧上的流影响装置不起作用,由此确保在所述流体流的沿所述相对的激活侧的第二部分上的动量不增加。

27. 根据权利要求 24 至 26 中任一项所述的方法,其中,所述条件限定了所述迎角与失速角之间的关系。

28. 根据权利要求 24 至 27 中任一项所述的方法,包括:当确定相应的叶片位于所述 VAWT 的圆形路径的相对于所述流体流方向的上风向部分中时操作所述流影响装置。

对垂直轴风力涡轮机(VAWT)的流控制

技术领域

[0001] 本发明涉及风力涡轮机,并且更具体地是涉及为了提高垂直轴风力涡轮机(VAWT)在电力产生上的效率而控制垂直轴风力涡轮机上的流的技术。

背景技术

[0002] 对环境可持续的住房和城市的需要是驱动用于建筑环境的风能转换系统的主要因素。这种情况的一个结果是侧风轴机器的再度出现,所述侧风轴机器最常见是沿垂直方向方位并称为垂直轴风力涡轮机(VAWT)。

[0003] 对这些机器进行了许多研究直到 20 世纪 80 年代,但是随着水平轴风力涡轮机(HAWT)的日益成功,上述研究基本上不再继续。不过,对于建筑环境而言,VAWT 有几个超过 HAWT 的优势,即:低的声音排放(由于较低的叶尖速比)、相对于 VAWT 的三个维度有更好的美学、对偏航不灵敏以及在歪斜方面提高的性能(见 Ferreira S M., van Bussel G., Scarano F., Kuik G., “2D PIV Visualization of Dynamic Stall on a Vertical Axis Wind Turbine (垂直轴风力涡轮机的动态失速的二维 PIV 显示)”, AIAA 论文 2007-1366, 第 45 届 AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit(AIAA 航空宇宙科学技术会议暨展览), 2007 年 1 月 8 号至 11 号,内华达州,里诺市)。

[0004] 国际专利公开 WO 2009/053984 公开了同一发明人的早期技术,该技术涉及风扇或水平轴风力涡轮机,该风扇或水平轴风力涡轮机包括至少一片叶片以及安装在所述叶片上的至少一个等离子体致动器。该技术为用于下述应用的风扇提供了性能改进或能源节约,所述应用例如个人、工业和汽车冷却、通风、抽真空和除尘、充气、电脑元件冷却、无人和载人飞行器的推进器、汽船推进器、气垫交通工具、飞艇以及模型飞机。此外,该发明提供更高的性能,比如为小型飞行器提供更高的提升和更高的提升效率。这些优势通过利用等离子体致动器给薄叶片和翼中(wing)提供激活的流控制效应器(active flow control effector)来实现。

[0005] 同一发明人的美国专利第 7, 537, 182 号公开了控制流体动态体的剪切层的方法。根据该方法,第一周期性扰动在第一流分离位置处被引入流体介质,并且第二周期性扰动在第二流分离位置处被引入流体介质。在流体介质在流体动态体上移动时,第一周期性扰动和第二周期性扰动之间的相位差被调整以控制剪切层的流分离。

[0006] 同一发明人的美国专利第 6, 267, 331 号公开了用于通过使流体从机翼上的至少一个位置流出从而阻止机翼的动态失速的方法。该位置可以是机翼上的任何地方;但如果该位置是在离前缘四分之一翼弦内并且流体流具有非零净质量通量,那么以大于 1 的斯特劳哈尔(Strouhal)比所描述的频率来调制流体流。

[0007] 美国专利 4, 504, 192 号公开了用于达里厄型(Darrieus-type)垂直轴风力涡轮机的空气射流阻流板装置。空气通过空心涡轮机叶片末端处的进气口被吸入空心涡轮机叶片中并以空气射流的形式通过沿叶片长度设置的小孔或开口喷射出来。空气射流在涡轮机叶片表面造成流分离,从而引起失速状况并减少输出功率。反馈控制单元感测涡轮机的输出

功率并相应地控制吸入进气口的空气量。

[0008] 在同一发明人的下列出版物中描述了与流分离相关联的一些问题以及用于减少相同问题的解决方案：“The control of flow separation by periodic excitation”，Greenblatt, D. 和 Wygnanski, I., Progress in Aerospace Sciences, 第 36 卷, 第 7 号, 2000 年 10 月, 487-545 (59) 页；“Effect of leading-edge curvature on separation control: A comparison of two NACA airfoils”，Greenblatt, D. 和 Wygnanski, I., 40th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit Reno, Nevada, 2002 年 1 月；“Effect of leading-edge curvature on airfoil separation control”，Greenblatt, D. 和 Wygnanski, I., AIAA Journal of Aircraft, 第 40 卷, 第 3 号, 2003 年, 473-481 页。

发明内容

[0009] 现有技术中, 需要一种以改进的性能尤其是旨在减少涡轮机的动态失速从而增加功率生产为特征的新颖的垂直轴风力涡轮机 (VAWT)。

[0010] 动态失速是表征涡轮机性能的重要参数并且描述了当涡轮机叶片快速改变迎角时出现的非线性不稳定空气动力效应。传统的 VAWT 面对的问题之一与动态失速相关联。这是因为动态失速现象的存在导致功率的显著下降并增加潜在破坏性的振荡载荷。这是用于在建筑环境中的主要问题, 在建筑环境中往往要求 VAWT 运行在低的叶尖速与风速比 (tsr) 处 (主要在 $3 < \text{TSR} < 4$ 处) 以减少噪音, 因此在失速状态花费了许多时间。

[0011] 更具体地, 应了解下列情况。在流从叶片的前缘流过叶片的表面流到叶片的后缘的情况下, 认为叶片上的流处于附着状态。然而, 当流的迎角超过某一临界角度时, 流不会到达后缘, 而是在下述分离线处离开表面, 超出分离线后流方向反向, 即流从后缘流回至分离线。这是流分离状况。在涡轮机旋转期间, 当流分离时叶片从流体流中转化较少的能量。

[0012] 因此, 应尽可能减少流分离 (或动态失速) 以提高涡轮机的效率。本发明提供了一种新颖的 VAWT 配置, 该配置可操作以在最临近叶片的前缘的时候可控地引起流体流动量的增加。本发明的技术用于预期低的动态失速而提供, 特别但不仅是用于以低 tsr 运行的 VAWT 而提供。通过给流增加由叶片产生的吹射流 (blowing jet) 所引起的额外的动量来增加流体流的动量。更具体地, 叶片被构造成具有一个或更多个流影响单元, 所述流影响单元位于叶片的至少一侧上优选地基本在叶片的前缘处并且被构造成以可控的方式被操作以在所述叶片的至少一侧处选择性地引起吹射流 (也就是按照某一时间模式产生吹射流) 即所谓的振荡或脉冲喷吹模式。

[0013] 应当注意的是流影响单元在叶片的前缘处的位置是在叶片的基本不超过弦长的 20% 的区域内。还应当注意, 根据本发明, 吹射流是从叶片的表面中的槽排出的流体射流; 或者是由电极在叶片上的排列所产生的电场引起的等离子体射流。

[0014] 应当理解, 涡轮机叶片具有相对于叶片的弦彼此相对的两侧, 在这两侧之间限定了空间 (可以是空心的或填充有某种介质)。考虑到叶片安装在涡轮机上, 叶片的两侧中的一侧是内侧, 该侧更接近涡轮机的中心, 而另一侧是外侧。考虑到涡轮机叶片暴露于流体流 (如风), 叶片的两侧中的一侧是上风方向的侧, 上风方向的侧是叶片借助于其面向到来的流体流的侧, 而另一侧是下风向方位的侧。在涡轮机沿某一方向旋转并且被暴露于朝某一流方向流动的流体期间, 叶片的内侧改变其相对于流方向的位置, 由此选择性地成为

上风向方位的侧或下风向方位的侧。随着叶片在涡轮机旋转(涡轮盘旋转)期间沿圆形路径移动,叶片交替地位于盘/路径的相对于流体流方向的上风向部分(半部分)中和下风向部分(半部分)中。对于在叶片位于盘的上风向半部分中的情况下,叶片的外侧是上风向方位的(因为外侧面向到来的流体流),而叶片的内侧是下风向方位的;对于在叶片位于盘的下风向半部分中的情况下,叶片的外侧是下风向方位的,而叶片的内侧是上风向方位的。

[0015] 如将在下面进一步说明的那样,根据本发明,优选地,只有当叶片的带有所述流影响单元的相应一侧是下风向方位时才激活叶片的流影响单元。一般来说,不论叶片位于涡轮机的上风向半部分还是下风向半部分,都可以将在所述叶片的下风向方位的侧上的流影响单元的激活。然而优选地,当相应的叶片位于涡轮机的上风向半部分时,激活这样的下风向侧流影响单元。

[0016] 优选地,叶片与位于叶片的(相对于叶片的轴或弦的)相对两侧上的流影响单元对以及被配置并且可操作以产生从一侧到另一侧的振荡喷吹效果的开关机构相关联。优选地,在确定迎角满足某一预定条件时开关机构的可控操作被致动。迎角的理想条件可以由迎角和失速角之间的关系或可以由 tsr 和对应失速条件的参考 tsr 值之间的关系来确定。

[0017] 在优选实施方式中,流影响单元是电气单元。例如,每个这样的电气单元由电极对形成,该电极对包括与流体流屏蔽并且位于叶片的相应一侧处的电极和暴露于流体流并且位于叶片的前缘处的电极,其中,暴露的电极对两对电极来说是共同的。在这种情况下,开关机构利用按照某一时间模式以可控制的方式可操作以选择性地即以交替的方式激活两个电极对之一的电压供给来在与叶片的相应一侧临近的流体流中产生等离子体射流。在另一个示例中,电气单元由流相互作用元件形成,通过电磁场该元件在该元件的激活位置和非激活位置之间可移动,其中,在激活位置处该元件与临近叶片的流体流相互作用,在非激活位置处该元件基本不影响流体流/与流体流相互作用。该元件可以是涡流发生器或压电元件等。

[0018] 在另一个实施方式中,流影响单元可以表现为位于叶片的相对两侧的两个槽或是涡流发生器。优选地,槽相对于叶片的弦是对称相同的,每个槽分别与弦形成一定的锐角,例如不超过或优选地小于 45 度。在该实施方式中,开关机构可以利用借助于泵组件穿过叶片在流体入口和槽之间的可控流体流通。可替代地,在该实施方式中,开关机构可以利用朝向槽的压力波的可控生成。

[0019] 通常,动量的增加仅可以实施在叶片的一侧上,即系统可以包括在叶片的一侧处的单个的以可控制的方式可操作的流影响单元。在其上实施动量增加的该侧在这里限定为“激活侧”。这样的单个流影响单元可以是槽的形式(优选地如上述那样方位)或者是流相互作用元件的形式(如涡流发生器或压电元件)。在这种情况下,开关机构(水力的、声学的、电磁的或光电的)以可控制的方式可操作以根据叶片相对于到来的流体流的方向(即激活侧是下风向方位的)并且在确定迎角是否满足预定条件时激活流影响单元,如上所述的那样。

[0020] 如上所指出的那样,优选地,(无论是在单个单元的实施方式中还是在双单元的实施方式中)只有当叶片的相应一侧相对于到来的流体流是下风向方位时才激活流影响单元。如上所指出的那样,优选地,(无论是在单个单元的实施方式中还是在双单元的实施方式中)只有在一定迎角条件下才激活流影响单元。

[0021] 因此,根据本发明的一个广泛的方面,提供有一种用于对垂直轴风力涡轮机

(VAWT) 的操作进行控制的控制系统,其中垂直轴风力涡轮机用于从到来的流体流中生成能量,所述控制系统包括与 VAWT 的至少一片叶片相关联的至少一个流影响装置以及连接至所述流影响装置的控制单元,所述流影响装置包括以在所述叶片的前缘处的方式分别位于叶片的相对两侧中的两个流影响单元,每个流影响单元可操作以在叶片的相应一侧处产生吹射流由此引起流体流动量的增加,所述控制单元被配置并且可操作以根据预定的时间模式以交替的方式选择性地激活流影响单元从而使吹射流在叶片的相对侧处振荡。

[0022] 流影响装置可以包括与叶片的相对侧相关联的两对电极限定的电极装置。控制单元被配置并且可操作以选择性地激活电极对以在叶片的相应一侧附近产生等离子体射流形式的所述吹射流。电极装置包括位于叶片的相对侧处且与流体流屏蔽的两个电极以及位于叶片的在所述两个电极之间并且间隔开这两个电极的前缘处的并且暴露于流体流的一个电极,被屏蔽的电极中的每一个电极与暴露的电极分别形成所述两对电极中的相应一对电极。

[0023] 优选地,时间模式使得当迎角满足预定条件时流影响单元中的至少一个是激活的。预定的条件可以限定迎角与失速角之间的关系。在这种情况下,当控制单元确定在旋转的 VAWT 中叶片的速度和位置符合迎角大于失速角的条件时控制单元操作流影响单元中的至少一个,并且当控制单元确定迎角变得小于失速角时控制单元停止所述流影响单元。

[0024] 流影响单元可以例如是下述槽的形式,所述槽以基本在所述叶片的所述前缘处的方式制成在叶片的相应一侧上。控制单元对经由在叶片的一侧中制成的入口和槽、流经空心的叶片的流体流的流通进行操作。在另一个示例中,控制单元包括振荡阀,该振荡阀以可控制的方式可操作以将槽中的每个槽在其闭合位置与其开放位置之间选择性地转换。在另一个示例中,流影响单元是下述涡流发生器的形式,该涡流发生器可相对于所述叶片的相应一侧在所述涡流发生器的第一位置与第二位置之间转换,所述涡流发生器在第一位置时对于流体流不起作用,然而所述涡流发生器在第二位置时起作用从而与流体流相互作用并引起流体流动量的增加。

[0025] 优选地,控制单元包括:位置检测器(或叶片检测器),该位置检测器可操作以检测叶片在涡轮机旋转时沿圆形路径的速度和位置并产生分别表示所述叶片速度和叶片位置的速度数据和位置数据;以及流检测器,该流检测器用于检测流体流相对于叶片的速度和方向并且用于分别产生表示所述流速度和所述流方向的流速度数据和流方向数据。控制系统还包括对处理器应用,该处理器应用响应于所述叶片速度数据、所述叶片位置数据、所述流速度数据以及所述流方向数据以监测迎角的状况,并且当识别所述预定条件时为流影响单元中的至少一个生成控制信号。

[0026] 根据本发明的另一个广泛的方面,提供有一种用于对垂直轴风力涡轮机(VAWT)的操作进行控制的控制系统,其中,垂直轴风力涡轮机用于从到来的流体流中生成能量,所述控制系统包括与 VAWT 的至少一片叶片相关联的至少一个流影响装置以及连接至所述流影响装置的控制单元,所述流影响装置包括以在所述叶片的前缘处的方式位于叶片的至少一侧上的至少一个流影响单元,所述流影响单元可操作以在叶片的相应一侧上产生吹射流由此引起流体流动量的增加,所述控制单元被配置并且可操作以根据预定的时间模式选择性地激活至少一个流影响单元从而使吹射流振荡。

[0027] 如上所述的那样,所述时间模式优选地使得当迎角满足预定条件时所述至少一个

流影响单元是激活的。此外,如上所述的那样,预定条件可以限定迎角与失速角之间的关系。当所述控制单元确定在旋转的 VAWT 中叶片的速度和位置符合迎角大于失速角的条件时所述控制单元操作所述至少一个流影响单元,并且当控制单元确定迎角变得小于失速角时所述控制单元停止所述流影响单元。

[0028] 所述时间模式优选地被选择为使得当叶片的相应一侧相对于流体流是下风向方位时所述至少一个流影响单元是激活的。

[0029] 所述流影响单元可以是下述槽的形式,所述槽基本在所述叶片的所述前缘处的方式制成在叶片的相应一侧上,在这种情况下,控制单元进行操作以使流体流经由叶片的一侧中制成的入口和所述槽、流经空心叶片进行流通;或利用以可控制的方式可操作的振荡阀以在振荡阀闭合位置与开放位置之间选择性地地进行转换。所述流影响单元可替换地可以是涡流发生器的形式,该涡流发生器可相对于叶片的相应一侧在所述涡流发生器的第一位置与第二位置间转换,所述涡流发生器在第一位置时对于流体流不起作用,而所述涡流发生器在第二位置时起作用从而与流体流相互作用并引起流体流动量的增加。

[0030] 根据本发明的一些实施方式,提供了一种用于从到来的流体流中生成能量的垂直轴风力涡轮机(VAWT),所述 VAWT 包括被安装以沿圆形路径旋转的至少一片叶片以及根据上述实施方式所配置的控制系統。

[0031] 根据本发明的再一的方面,提供有一种用于对用于从到来的流体流中生成能量的垂直轴风力涡轮机(VAWT)的操作进行控制的方法,所述 VAWT 包括至少一片叶片,该至少一片叶片具有与至少一个可控的流影响装置相关联的至少一个激活侧。所述方法包括:监测到来的流体的速度和方位;监测旋转的 VAWT 的所述至少一片叶片的速度和方位;对表示到来的流体的速度和方位的数据以及表示所述至少一片叶片的速度和方向的数据进行分析,并确定所述叶片相对于到来的流体的方位以及迎角;以及当确定所述激活侧面向到来的流体并且所述迎角满足预定条件时,选择性地操作所述至少一个可控的流影响装置以增加所述流体流的在所述激活侧上的第一部分的动量。

附图说明

[0032] 为了理解本发明并了解本发明是如何在实践中执行,现将参考附图以仅作为非限制性示例的方式对实施方式进行了描述,在附图中:

[0033] 图 1A 和图 1B 是示出了分别根据本发明的两个实施方式的用于 VAWT 的控制系统的框图;

[0034] 图 2A 至图 2D 示出了形成本发明基础的与叶片周围流体流关联的一般原理;

[0035] 图 2E 示例出了本发明的用于实现选择性生成吹射流的一个特征;

[0036] 图 3A 和 3B 用曲线示出了在给定的迎角的情况下功率系数对 tsr 的依从关系(图 3A)、以及在不同的迎角的情况下功率系数对 tsr 的依从关系;

[0037] 图 4 示出了利用由两个电极对形成的流影响装置的本发明的示例,所述流影响装置与叶片的两侧相关联并且可操作以在叶片的两侧处产生等离子体射流;

[0038] 图 5A 示出了利用由单个流影响单元形成的流影响装置的本发明的示例,所述单个流影响单元是在叶片的一侧中制成的槽的形式并且以可控制的方式可操作以选择性地引起吹射流的产生;

[0039] 图 5B 示出了利用由两个流影响单元形成的流影响装置的本发明的示例,所述两个流影响单元是在叶片的相对的两侧中制成的两个槽的形式并且每个流影响单元以可控制的方式可操作以在相应一侧处选择性地引起吹射流的产生;

[0040] 图 6A 至图 6C 分别示出了利用由两个流影响单元形成的流影响装置的本发明的三个示例,所述流影响单元是在叶片的相对的两侧中制成的两个槽的形式并且是可通过振荡阀操作的;

[0041] 图 7A 至图 7B、图 8 和图 9 分别示例利用由涡流发生器形成的一对流影响单元的本发明的不同构造,每个所述流影响单元可在相对于流体流的生效位置和无效位置间转换,其中,图 7A 至图 7B 示出了本发明的下述实施方式,在所述实施方式中叶片包括朝向或背离叶片可伸缩的涡流发生器;图 8 示出了本发明的下述实施方式,在所述实施方式中涡流发生器可通过围绕铰链旋转而展开;图 9 示出了本发明的下述实施方式,在所述实施方式中涡流发生器经由电磁场的施加而改变其形状;

[0042] 图 10 是示例了用于控制在 VAWT 的叶片处的选择性的吹射流的产生的本发明的 VAWT 系统的示意图;

[0043] 图 11 是示出了用于减少 VAWT 叶片的动态失速的本发明的方法的示例的流程图;

[0044] 图 12 是不同的功率与 tsr 曲线的图示,每条曲线对应于传给在双槽叶片周围流的空气的恒定动量;

[0045] 图 13 是当将动量传给在双槽叶片周围流的空气时不同的功率与 tsr 曲线的图示,每条曲线对应于不同的系统功率损耗;

[0046] 图 14 是当将变化的动量传给在单槽叶片周围流的空气时不同的功率与风速曲线的图示,每条曲线对应于不同的系统功率损耗;

[0047] 图 15 是当振荡动量传给在双槽叶片周围流的空气时不同的功率与风速曲线的图示,每条曲线对应于不同的系统功率损耗;以及

[0048] 图 16 是占不同系统功率损耗的由单槽叶片和双槽叶片按年计所产生的功率的图示。

具体实施方式

[0049] 参照图 1A 和图 1B,图 1A 和图 1B 分别示意性地示出了根据本发明的两个实施方式构造 VAWT 系统的一般原理。为了便于理解,使用相同的附图标记用于标识本文描述的所有示例中共有的部件。示出了 VAWT 的典型叶片 10。叶片 10 具有前缘 12A 和后缘 12B,在前缘 12A 和后缘 12B 之间限定了叶片弦,并且叶片 10 具有相对的两侧 14A 和 14B,这两侧 14A 和 14B 限定了静压箱(plenum chamber)。根据本发明,叶片 10 与流控制系统相关联以用于通过增加流体流的动量来控制叶片 10 附近的流体流(如空气或水)以便按照期望来影响流体流从而减少流分离进而控制 VAWT 的动态失速,流控制系统总体由 20 表示。

[0050] 控制系统 20 包括与叶片侧 14A 和 14B 中任何一个或二者相关联的流体流影响装置 22 并且包括控制器 24。流体流影响装置 22 位于靠近涡轮机叶片 10 的前缘 12A 的区域内。控制器 24 被配置为并且可操作以实现下述开关机构,该开关机构产生流影响单元的操作的某种时间轮廓,导致在所述流影响单元附近产生吹射流。

[0051] 在图 1A 的示例中,流影响装置 22 包括位于叶片 10 的前缘 12A 处并可通过控制器

24 进行操作的单个流影响单元。在图 1B 的示例中,流影响装置 22 包括分别与叶片侧 14A 和 14B 相关联的第一流体流影响单元 22A 和第二流体流影响单元 22B。控制器 24 实现开关机构以选择性地操作流影响单元 22A 和 22B 中的一个流影响单元,从而产生从一侧到另一侧的振荡喷吹。如本图所示,控制器 24 选择性地链接在流影响单元 22A 与 22B 之间以按照交替的方式来操作流影响单元 22A 与 22B。

[0052] 因此,在图 1A 和图 1B 这两个示例中,吹射流产生的控制基本施加在叶片的前缘处,例如在叶片弦的从前缘开始并且基本上不超过弦长的 20% 的区域内。该控制借助于稳定的或振荡的扰动来进行。扰动可以是内部的、外部的、机械的、机电的、气动的、液压的、基于等离子体的、基于洛仑兹力的等。振荡扰动可以是单频或双频扰动。

[0053] 如下面将进一步说明的,流影响单元以及控制器可以有不同的配置。例如,第一流影响单元 22A 和第二流影响单元 22B 中的每个流影响单元可以由一对电极形成。每对电极包括暴露于流体流的电极和与流体流屏蔽的电极,暴露的电极被两对电极共用而被屏蔽的电极位于叶片的相对的两侧 14A 和 14B。在一些其他的示例中,流影响单元可以是在叶片的各侧中制成的孔或槽的形式,例如,其可以是分别在叶片相对侧 14A 和 14B 中制成的两个槽 22A 和 22B;或在可其生效位置和无效位置间转换的其他元件,在所述生效位置处所述元件与流体流相互作用。

[0054] 参照图 2A 至图 2D,图 2A 至图 2D 示出了形成本发明基础的主要原理。图 2A 示出了叶片处的流分离的影响。如同所示,叶片 10 具有在其前缘 12A 和后缘 12B 间延伸的弦以及相对的两侧 14A 和 14B。叶片暴露于具有总的流方向 108 的流体流(风)中。在叶片 10 的相对于总的流方向 108 的这种位置的情况下,这两侧 14A 及 14B 分别是上风向侧(叶片的面向到来的流体流的一侧)和下风向侧(叶片的背向到来的流体流的一侧)。流动的流 116 和 118 在叶片的下风向侧 14A 处在该下风侧 14A 的基本在叶片的前缘处的部分内被分离,在叶片的所述侧部分产生低压区域。

[0055] 在不具有流影响装置的叶片的传统配置的情况下,在上风向侧 14B 和下风向侧 14A 之间产生压力差,引发动态失速,该动态失速减慢叶片 10 的运动并可能会引起作用于叶片 10 上的不期望的振荡力,因此减少 VAWT 的能量输出(功率输出)。如图进一步所示,如果当流体流在靠近叶片 10 的在叶片 10 的前缘附近的下风向侧 14A 时将动量 120 加入流体流中以便增加流体流动量,那么流体流 116 改变其轨迹以沿路径 116' 流,路径 116' 至少部分地沿叶片 10 的下风向侧 14A 延伸。以这种方式,流分离被减弱,从而减少动态失速及其带来的不良影响。动量的增加通过至少在叶片的所述下风向方位的一侧处以适当的方式产生吹射流来实现。

[0056] 图 2B 示出了装有三个叶片的 VAWT 的俯视图,该 VAWT 总体由 30 表示,被称作涡轮盘。涡轮机(盘)30 如箭头 ω 所示逆时针旋转,风(流体流)沿着方向 D 以风速 V_{∞} 流向涡轮机。当涡轮机以角速度 ω 旋转时,涡轮机叶片 10A、10B 和 10C 中的每片涡轮机叶片的特征在于各自的线速度矢量,而风的特征在于相对于叶片的特定速度 W 。风的运动以相对于叶片弦的“迎角” α 进行。角度 θ 表示叶片沿涡轮盘 30 的角位置。

[0057] 在涡轮机旋转时,当叶片位于盘 30 的上风向半部分中时,叶片在叶片的内侧上失速,当叶片在盘 30 的下风向半部分中时,叶片在叶片的外侧上失速。本发明的控制系统被配置并且可操作以根据某一时间模式/轮廓激活每个流影响单元,从而通过影响局部叶片

动量系数来增加在叶片的一部分上流动的流体的动量。

[0058] 让我们考虑受到的风速 V_∞ 的 H 转子型 VAWT 的流速度, 如图 2C 和 2D 所示。假设叶片的长宽比足够大以致于忽略诱导拖曳力的影响, 弦的速度分量 V_c 和正常的速度分量 V_n 分别如下:

$$[0059] \quad V_c = R\omega + V_a \cos \theta \quad (1)$$

$$[0060] \quad V_n = V_a \sin \theta \quad (2)$$

[0061] 其中, V_a 是通过转子的轴向流速度(即诱导速度), ω 是转速, R 是涡轮机的半径, 以及 θ 是方位角。迎角 α 可以表示为:

$$[0062] \quad \alpha = \tan^{-1} \left[\frac{\sin \theta}{(R\omega/V_\infty)/(V_a/V_\infty) + \cos \theta} \right] \quad (3)$$

[0063] 其中 $R\omega/V_\infty$ 对应于 t_{sr} 。

[0064] 可以得到相对流速 (W) 为:

$$[0065] \quad W = \sqrt{V_c^2 + V_n^2} \quad (4)$$

[0066] 将 V_c 和 V_n 的值(等式 1 和等式 2) 代入到等式 4 中, 可以得到速度比为:

$$[0067] \quad \frac{W}{V_\infty} = \frac{W}{V_a} \cdot \frac{V_a}{V_\infty} = \frac{V_a}{V_\infty} \sqrt{\left[\left(\frac{R\omega/V_\infty}{V_a/V_\infty} + \cos \theta \right)^2 + \sin^2 \theta \right]} \quad (5)$$

[0068] 切向力系数 C_t 是升力的切向分量与拖曳力的切向分量之间的差。类似地, 法向力系数 C_n 是升力的法向分量与拖曳力的法向分量之间的差。 C_t 和 C_n 的表达式可以写成:

$$[0069] \quad C_t = C_l \sin \alpha - (C_d + C_\mu^*) \cos \alpha \quad (6)$$

$$[0070] \quad C_n = C_l \cos \alpha + (C_d + C_\mu^*) \sin \alpha \quad (7)$$

[0071] 这里 C_l 和 C_d 是二维的升力系数和拖曳力系数:

$$[0072] \quad C_l = \frac{l}{\frac{1}{2} \rho W^2 c H} \quad (8)$$

$$[0073] \quad C_d = \frac{d}{\frac{1}{2} \rho W^2 c H} \quad (9)$$

[0074] 其中 c 是叶片弦, H 是转子的高度, ρ 是流体的密度。

[0075] 考虑在叶片的一侧上的槽的形式的流影响单元, 等式 6 和等式 7 也包括由槽的吹射流效应引起的局部动量系数:

$$[0076] \quad C_\mu^* \equiv \frac{J_b}{\frac{1}{2} \rho W^2 A_R} = \frac{\rho A_s U_j^2}{\frac{1}{2} \rho W^2 c H} = \frac{2h_s}{c} \left(\frac{U_j}{W} \right)^2 \quad (10)$$

[0077] 其中, A_s 是喷吹槽面积, h_s 是槽的宽度, U_j 是槽喷吹的速度, 以及 A_R 是涡轮机面积, 即涡轮机面向流体流的垂直面积, 并定义为 $A_R = 2RH$ 。针对叶片上的净切向力和法向力, 有:

$$[0078] \quad F_t = c_t \frac{1}{2} \rho c H W^2 \quad (11)$$

$$[0079] \quad F_n = c_n \frac{1}{2} \rho c H W^2 \quad (12)$$

[0080] 平均切向力是:

$$[0081] \quad F_{ta} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F_t(\theta) d\theta \quad (13)$$

[0082] 以类似的方式,可以计算作用在涡轮机 F_D 上的总拖曳力。基于 Rankine-Froude 致动器盘理论,有:

$$[0083] \quad V_a = \frac{V_\infty + V_w}{2} \quad (14)$$

[0084] 其中, V_w 是唤醒速度。

[0085] 当使用用于主动流控制的喷吹系统时,添加了盘的质量。质量的添加影响守恒等式。考虑被控制体积围绕的假想旋转体的涡轮盘,可以计算在涡轮机旋转周期内的不稳定喷吹 $\dot{m}_b(t)$ 。根据质量守恒等式:

$$[0086] \quad \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho \bar{u} \cdot \bar{n} dA = 0 \quad (15)$$

[0087] 可以忽略第一项,这是因为只对周期质量流积分感兴趣,并假设输入的不稳定喷吹 $\dot{m}_b(t) = \rho U_j(t) A_s$ 不随周期变化。因此,质量守恒等式可以写成:

$$[0088] \quad -\rho V_\infty A_\infty - \rho \bar{U}_j A_s + \rho V_w A_w = 0 \quad (16)$$

[0089] 其中 \bar{U}_j 是周期中平均槽速度。此外,动量等式的积分守恒是:

$$[0090] \quad -F_{DR} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \bar{u} \rho dV + \int_{cs} \bar{u} \rho \bar{u} \cdot \bar{n} dA \quad (17)$$

[0091] $(\rho U_j(t)^2 A_s)$ 项随方位角位置 θ 变化。随着盘的旋转,喷吹对称地布置在盘周围,因此该项的净贡献是零。结合质量等式 16 和动量等式 17 得出:

$$[0092] \quad F_{DR} = \dot{m}(V_\infty - V_w) - \rho V_w \bar{U}_j A_s \quad (18)$$

[0093] 其中 $\dot{m} = \rho A_R V_a$ 是转子面积,即 Hx (2R)。

[0094] 常用的干扰因子可以被定义为:

$$[0095] \quad a \equiv 1 - \frac{V_a}{V_\infty} \quad (19)$$

[0096] 将等式 14 和 19 代入等式 18,简化后得到:

$$[0097] \quad a = \frac{C_{DR} + C_{Dj} + a^2}{1 + 2C_{Dj}} \quad (20)$$

[0098] 其中

$$[0099] \quad C_{DR} = F_{DR} / (2 \rho A_R V_\infty^2) \quad (21)$$

[0100] 是涡轮机拖曳力系数,以及

$$[0101] \quad C_{Dj} = (h_s / 4R) \cdot (\bar{U}_j / V_\infty) \quad (22)$$

[0102] 是吹射流对动量等式的贡献(无量纲)。

[0103] 现在考虑用于对引起流体流动量的增加的影响进行控制的各种实施方式。这是主动流量控制,该控制可以通过稳定的或脉冲式吹射流来引起。

[0104] 局部叶片动量系数可表示为:

$$[0105] \quad C_{\mu}^* \equiv \frac{J_b}{\frac{1}{2}\rho W^2 cH} = \frac{2h_s}{c} \left(\frac{U_j}{W} \right)^2 \quad (23)$$

[0106] 而涡轮动量系数可表示为：

$$[0107] \quad C_{\mu} = \frac{J_b}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 cH} = \frac{2h_s}{c} \left(\frac{U_j}{V_{\infty}} \right)^2 \quad (24)$$

[0108] 其中等式 23 和 24 以下述关系相关联：

$$[0109] \quad C_{\mu}^* = C_{\mu} (V_{\infty} / W)^2$$

[0110] 应当指出,在实际情况中涡轮机叶片正经历相对流速度(W),该速度随着方位角位置 θ 而变化并且是诱导速度和 tsr 的函数。对迎角 α 有同样的情况,迎角在失速前的情况与失速后的情况之间有所变化。因此可以引入稳定的喷吹数据作为脉冲的并且变化的动量,或所谓的脉冲式喷吹。可替换地,如果 C_{μ} 保持恒定,那么 C_{μ}^* 变化并且使用变化的叶片数据。在所有情况下,气动力系数以准稳态的方式随着变化的 C_{μ}^* 而变化。

[0111] VAWT 的公知的不足是其无法自启动。使用稳定射流用于流控制的有利副产品是涡轮机能在任何条件下包括零风速条件下进行自启动。通过控制吹射流行为(如下面将进一步示例的那样),具有 N 片叶片的涡轮机受到下述转矩：

$$[0112] \quad T_p = N \rho A_s U_j^2 R \quad (25)$$

[0113] 考虑到平均切向力, N 片叶片的功率是：

$$[0114] \quad P = N F_t R \omega \quad (26)$$

[0115] 该功率通常被无量纲化为功率系数 C_p ：

$$[0116] \quad C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^3 A_R} \quad (27)$$

[0117] 迎角 α 随着暴露在流体流中的叶片的旋转以及随着 tsr 的变化而变化。当迎角达到其临界值(称为失速角 α_{stall})时,产生最大升力系数。发明人发现如果在其间迎角相对于 α_{stall} 或 tsr 满足一定条件即迎角和 α_{stall} 或 tsr 之间存在一定关系的时间间隔中维持适当的吹射模式(即维持流影响进程),则能显著提高涡轮机效率(可以增加即涡轮机功率)。例如,当 $\alpha \geq \alpha_{stall}$ 时启动吹射模式,当 $\alpha < \alpha_{stall}$ 时停止吹射模式。

[0118] 图 2E 示出了作为方位角位置 θ 和尖速比 tsr 的函数的任意单位的脉冲式吹射流幅度 U_j 。区域 G1 和 G2 对应于其中喷吹控制被激活的方位角区域(旋转时叶片的 θ 或相对位置的值),这里 $\alpha \geq \alpha_{stall}$ 。如图所示, $\alpha \geq \alpha_{stall}$ 导致脉冲式喷吹,其中,占空比即周期中的喷吹被激活所占的部分是方位角和尖速比的函数。

[0119] 图 3A 和 3B 示出了本发明原理如何影响涡轮机运行。图 3A 示出了当 $\alpha \geq 11^\circ$ 时恒定动量系数的脉冲式槽吹对涡轮机的净性能的影响的计算结果(使用功率校正方法)。曲线图 B1 至曲线图 B7 对应于动量系数的不同值。如图所示,在低 tsr 运行范围中可以看出功率输出的显着改善,此外,峰输出功率维持在较低的 tsr 值处。已知针对给定的风速在较低的 tsr 值处的运行能产生较低的噪音水平和空气动力负荷振荡。因此,脉冲式喷吹提供了 VAWT 的有效动态失速控制。

[0120] 启动控制/停止控制所处的迎角对整体涡轮机的性能有显著影响。因此发明人发现可以获得甚至更好的系统性能的结果是在迎角的值略小于 α_{stall} 时启动吹射流影响。图 3B 中示出了这一点,该图示出当 $C_u^* = 3.66\%$ 时在不同迎角 α 的值的的情况下启动/停止吹射流对系统性能的影响。七条曲线 L1 至 L7 示出对应于不同迎角值的作为 t_{sr} 的函数的功率系数。可以看出,迎角为 8° 时获得最佳结果,该角度值低于 $\alpha_{\text{stall}} = 11^\circ$ 。

[0121] 以下是 VAWT 系统配置的一些示例。图 4 示例了根据本发明的利用图 1B 的配置(即两个流影响单元在叶片的相对的两侧处)的实施方式所构造系统。在这里,由电极组件形成流影响装置。该图更具体地示出了叶片的与控制系统的流影响元件 22A 和 22B 关联的前缘 12A。流影响元件 22A 和 22B 由包括三个电极 42、44A 和 44B 的电极装置表示。电极 44A 和 44B 是以分别在叶片的相对的两侧 14A 和 14B 处的方式位于该叶片的内表面上的封装电极,因此与周围环境(即与流体流或风)屏蔽,电极 42 以在电极 44A 和 44B 之间并且距 44A 和 44B 相同的距离的方式位于叶片的外表面处并暴露于风中。电极 42、44A 和 44B 一起限定两个电极对 42-44A 和 42-44B,这两个电极对分别形成流体流影响单元 22A 和 22B。如图 4 所示,叶片有内部材料 48,该材料理想是不导电的,比如塑料,并且在叶片前缘处提供有沿电极装置之间延伸的电介质层 46。控制器 24 包括可操作以将电压施加至电极的电压提供单元 26。在暴露的电极 42 和封装电极 44A 和 44B 中的至少一个上施加高电压(AC)会产生介质阻挡放电(DBD)等离子体,从而分别在沿叶片侧 14B 和 14A 的附近使得能够选择性地产生等离子体射流 1 和等离子体射流 2。DBD 等离子体的施加防止流分离并大大提高了涡轮机的性能(能量转换)。

[0122] 当叶片位于叶片盘上风向半部分时,叶片在盘的内部上失速。在这些条件下,暴露的电极 42 和封装的电极 44B 被激活以产生 DBD 等离子体射流 1。当叶片(或多片叶片)位于盘的下风向半部分时,叶片在盘的外部上失速。在这些条件下,暴露的电极 42 和封装的电极 44A 被激活以产生 DBD 等离子体射流 2。通过 DBD 等离子体射流的这种循环施加,失速显著减少,从而导致涡轮机的最理想性能。

[0123] 如上所指示的,在迎角相对于失速角或 t_{sr} 处于预定关系的时间间隔期间例如当迎角大于失速角时,电极对中的每个电极对(即每个流影响单元)保持激活。此外,电极对的激活优选地使得等离子体射流的至少一个参数在这个时间间隔期间变化,例如振荡,例如脉冲。以这种方式,流体流的诱导动量增加可以保持恒定(由于叶片的旋转)。

[0124] 如上参照图 1A 所描述的,在本发明的一些实施方式中,流体流的动量增加仅在叶片的一侧处产生作用,即流影响装置包括与叶片的一侧相关联的单个流影响单元。根据本发明,根据考虑到叶片相对于流体流的位置的特定时间模式激活动量增加,即仅当叶片的相应的(激活的)侧相对于流体流是下风向方位的时刻增加动量产生作用,当所述激活侧是上风向方位时不激活。在动量增加产生作用的时隙期间,增加的动量可以是恒定的或随时间变化。

[0125] 通过由于施加在叶片处的一个或更多个刺激产生的吹射流造成的动量增加来实现流体流动量所需的增加。在这方面,应当指出,因为当叶片旋转时施加刺激,所以如果要获得恒定的动量增加,则应施加变化的增加动量的刺激,同时获得变化的动量增加可能需要施加恒定的增加动量的刺激。

[0126] 发明人发现当流体流动量的增加是通过位于沿圆形路径或涡轮盘

$300^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 的角度段内的叶片来产生作用时,由流体流动量的增加造成的动态失速的减弱沿涡轮盘 30 最大(如图 2b 所示)。因此,在优选实施方式中,如果在给定的时间叶片中仅存在有一个激活侧或只有叶片的一侧是激活的,那么该叶片的所述激活侧是叶片的内侧。这是因为在上面限定的涡轮盘 30 的段($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$)内,叶片的内侧是下风向方位,即叶片的沿着其分离要通过流体动量的增加而被减弱的一侧。

[0127] 在本发明的一些实施方式中,通过利用图 1B 的系统配置,根据预定的时间模式以总体交替的方式动量增加对叶片的两侧产生作用,优选地以使得在影响动量增加的时隙期间经由当前是下风向方位的侧施加刺激。

[0128] 参照图 5A 和图 5B,图 5A 和图 5B 分别示出了本发明的利用与单个叶片侧(图 5A)相关联的流影响装置以及与叶片相对的两侧(图 5B)相关联的流影响装置来增加沿叶片的流体流的动量的技术的两个示例。在这些示例中,流体流影响单元是以在叶片的前缘处的方式制成在叶片的侧上的槽的形式,并且控制器利用流体泵使流体穿过叶片流通。

[0129] 在图 5A 中示出了空心叶片 10,所述叶片包括在叶片一侧 14A 上接近叶片前缘的槽 22 (形成流体流影响单元)以及泵 26 (形成控制器 24)。泵 26 以可控制的方式可操作以经由入口 28 将流体流 208 引入到叶片的空心部分。流体经由槽 22 流出叶片,从而产生流体射流 102。槽 22 优选地有与叶片弦形成一定锐角 γ 的几何形状以使得流体射流的沿叶片表面的切线的分量(在槽的开口处)从叶片的前缘指向叶片后缘。角 γ 优选地是大约 45 度或更小。当叶片一侧 14A 是下风向方位的一侧时,沿叶片 10 的一侧 14A 流动的流体的动量增加。动量的增加取决于流体射流 102 的速度、取决于角 γ 以及取决于叶片相对于到来的流体流的迎角。流体射流 102 的速度可以是常量或变量。

[0130] 当叶片一侧 14A 相对于总的流体流方向是下风向方位(即背离流体流 108)时,在叶片一侧 14A 处动量的增加对于减弱流分离最有效。因此,根据优选实施方式,当叶片一侧 14A 是上风向方位时,泵 26 关闭或以降低的功率运转,当叶片一侧 14A 是下风向方位时泵 26,开启或以增加的功率运转。

[0131] 在图 5B 中示出了具有在叶片两侧 14A 和 14B 中制成的第一叶片槽 22A 和第二叶片槽 22B (形成第一和第二流体流影响单元)的叶片 10。槽 22A 和 22B 优选地有对称相同的几何形状(相对于叶片中心轴或弦),从而与叶片弦形成对角,如 45 度和 135 度。被泵 26 排出的流体分成通过第一槽 22A 的第一流体射流 102A 和通过第二槽 22B 的第二流体射流 102B。两个流体射流的速度取决于槽的几何尺寸(长度、宽度、深度)以及取决于槽的方位。由于槽 22A 和 22B 对称相同的几何形状以及因此基本相对的角度,流体射流 102A 与 102B 几乎等同。泵 26 可以连续运转从而产生连续的射流 102A 和 102B,以确保凭借下风向流体射流,动量增加一直对叶片下风向侧产生作用。泵 26 以其运转的功率(以及因此射流的速度)可以是恒定的或可以根据涡轮机旋转时叶片的位置和 / 或速度而变化。如果泵 26 运转的功率是恒定的,那么动量的有效增加随叶片 10 的位置而变化。相对地,如果泵 26 以脉冲式方式运转,那么动量的有效增加可以保持恒定。在任何情况下,局部叶片动量系数和涡轮机动量系数都经由诱导槽吹速度产生作用。

[0132] 如上所述,利用两个单元流影响装置 22 的控制系统 20 优选地被配置并且可操作以实现下述开关机构,所述开关机构以振荡方式将射流喷吹从一侧移动到另一侧。这可以使用下述流影响单元实现,该流影响单元被配置并且可操作以在其与叶片外部的流体流产

生相互作用的生效位置与没有这样的相互作用的无效位置之间转换。这样的转换是按照一定的时间模式来进行的。一般来说,时间模式使得两个流影响单元以交替方式各自在一定的时间间隔维持活跃。如上所述,其间流影响单元是激活的时间间隔优选地根据预定的迎角条件开始和结束。通过控制系统基于流体流的速度和涡轮机的转速而监测迎角。在流影响单元是激活的时间间隔期间,流影响单元产生吹射流,该吹射流可以是例如脉冲模式的振荡喷吹。吹射流的振荡通常意味着至少射流的参数在所述时间间隔的时间期间变化,这可以是变化的幅度和 / 或频率。

[0133] 以下是这种系统配置的几个具体的但非限制性的示例。

[0134] 图 6A 至 6C 示出了:具有前缘 12A 和后缘 12B 以及两侧 14A 和 14B 的叶片 10;以及包括流影响装置 22 和控制器 24 的控制系统 20。流影响装置位于叶片的前缘 12A 并且包括以对称相同的方式分别设置在两侧 14A 和 14B 中的两个槽 22A 和 22B。控制器 24 包括下述阀 40,该阀通过控制系统(未示出)以振荡模式操作,以根据预定的时间模式选择性地开放和闭合槽 22A 和 22B 中之一。如图 6A 所例示的,阀可以是机械的或液压的等。

[0135] 如图 6B 所示,阀在其第一位置与其第二位置之间振荡,第一位置是阀闭合槽 22A 同时保持槽 22B 开放的情况,第二位置是阀开放槽 22A 并且闭合槽 22B 的情况。在这个示例中,叶片有入口开口 28,该入口制成在叶片任一侧中,本示例中是在侧 14A 中。阀 40 的操作使流体通过叶片在叶片的入口 28 与出口槽 22A 或 22B 中之一之间流通。

[0136] 在图 6C 的示例中,叶片没有入口开口并且阀 40 在其第一位置和第二位置之间的转换是使用以可控制的方式操作的压力波发生器 42 来实现的。压力波发生器以适当的振荡模式运转,并且可以是任何合适已知的类型的,如声驱动器、压电振荡器或陶瓷振荡产生器等。压力波发生器 42 的操作是零净质量通量操作。

[0137] 图 7A 至 7B 示例了带有与适当的控制器 24 相关联的流影响装置 22 的叶片 10。在这里,由位于叶片的两侧 14A 和 14B 的两个涡流发生器 22A 和 22B 形成流影响装置 22。每个涡流发生器可在其无效缩回位置与其生效伸出位置间转换,在无效缩回位置处涡流发生器基本上不影响流体流,意味着涡流发生器基本上不影响流体流动量,在生效伸出位置处涡流发生器影响流体流。在一个变体中,涡流发生器可以具有一个或更多个中间位置:涡流发生器可以是可控的以部分地从叶片伸出,从而根据 VAWT 的要求产生更弱或更强的涡流。在一个变体中,涡流的强度随涡轮机旋转时叶片沿圆形路径的位置而变化。如以不需要加以说明的方式在图中所示的那样,控制器 24 选择性地连接在涡流发生器 22A 与涡流发生器 22B 之间以将这些涡流发生器中之一从其无效位置转换到生效位置,在该生效位置处涡流发射器与流体流相互作用 / 影响流体流。

[0138] 图 8 示出了流影响装置 22 的示例,其中,流影响单元包括可通过围绕铰链 44 旋转而展开的涡流发生器 22A、22B。当涡流发生器处在非展开模式时,该涡流发生器沿叶片延伸以覆盖部分叶片,当涡流发生器处在展开模式时,该涡流发生器通过围绕铰链 44 旋转从叶片伸出并且与流体流相互作用从而影响流体流的动量。可选择地,涡流发生器有一个或更多个中间模式,从而形成相对于叶片的表面不同的角度。

[0139] 图 9 示出了有些不同的示例,其中,涡流发生器可操作以响应于某个场的施加来改变该涡流发生器的形状。所施加的场可以是经由通过接触或以不接触的方式施加的电流和 / 或电压和 / 或磁场而导致涡流发生器的形状改变的电磁场。对于这样的涡流发生器来

说,合适的材料可以是例如压电陶瓷、磁致伸缩材料、或磁性形状记忆合金(在磁场影响下改变形状的材料)。所施加的场可以是温度场,对于这样的涡流发生器来说,合适的材料可以包括当温度变化时改变形状的形状记忆合金。

[0140] 图 10 是本发明的 VAWT 100 的示意图,VAWT 100 有下述控制系统,该控制系统与涡轮机关联并且被配置且可操作以根据流体流的方向和叶片的位置来控制通过涡轮机的至少一片叶片的吹射流产生。VAWT 100 包括一片或更多片叶片,总体以 10 表示。每片叶片 10 被配备有控制系统 20,该控制系统如上所述的那样被设计并且可操作以增加沿叶片的至少一侧流动的流体的动量。流的动量所沿的一侧是可增加的,在此被限定为叶片的激活侧。如上所述的那样,每片叶片可以有一个或两个激活侧。可以按照上述非限制性的示例中的任一个示例配置与叶片一个或多个侧关联的控制系统。控制系统 20 与叶片处(例如,在每片叶片处)的流影响装置(未示出)关联并且包括叶片检测器 52 和流体流检测器 50。叶片检测器 52 被设计用于检测叶片沿圆形路径的位置和叶片的速度,并产生表示这些信息的数据。流体流检测器 50 被设计用于检测到来的流体的大体方向和到来的流体的速度,并产生表示这些信息的数据。通过叶片检测器 52 和流体流检测器 50 生成的数据被控制器 24 接收,该控制器有合适的处理器应用,该处理器应用可操作以确定每片叶片相对于到来的流体流方向的方位从而确定迎角。控制器 24 被设计用于如上所述的那样基于每片叶片的相对于到来的流体流方向的以及相对于迎角的方位按照一定的时间模式激活在叶片处的所述动量增加。

[0141] 控制系统 20 确保对于每片叶片至少当激活的叶片侧是下风向方位时在激活的叶片侧上的流体流动量增加。控制系统可操作以根据每片叶片的方位并按照迎角来开启和闭合增加动量的元件。时间模式可以使得在带有所述流影响单元的叶片侧是下风向方位的而且优选地所述叶片还在旋转涡轮机的上风向半部分内的时间间隔期间流影响单元是生效的;在这些选项中的任意一个选项中,时间模式优选地也考虑迎角。

[0142] 图 11 示出了根据本发明的示例减少 VAWT 系统动态失速的方法流程图 500。在 502 中,监测流体流的方向和速度。在 504 中,监测叶片的速度和方位。可以例如通过监测叶片的沿叶片的已知路径的位置来确定方位。监测步骤 502 和 504 可以是连续的或以预定的频率起作用。在 506 中,使用流体流的速度和方向以及叶片的速度和方位来确定叶片相对于所述流体流的方向的方位和迎角以及迎角相对于失速角或 tsr 的关系/条件。在 508 中,在符合预定迎角条件的的时间间隔期间,使流体流的沿至少下风向叶片侧的动量增加。动量增加可以是在时间上是恒定或是变化的,例如可以取决于叶片相对于流体流方向的方位。可选地,在 510 中,执行检查以确保动量增加不对在上风向方位叶片侧上流动的流体起作用。这是通过控制两个激活侧的操作来完成的,以确保在两个激活侧中的一个激活侧上的流影响装置生效时在相对侧上的流影响装置不起作用。这最后一步可以用来作为节能步,因为流体自然地沿叶片的上风向方位的侧流动。如果叶片仅有唯一的一个激活侧,则步骤 510 可以通过当叶片的激活侧是上风向方位的侧时闭合增加动量的元件来实现。如果叶片的两侧都是激活侧,那么步骤 510 可以通过控制开关单元来进行,以使得增加动量的元件的所有能量集中于使流动的流的作用在叶片的下风向侧上动量增加并且没有任何增加动量的元件的能量用于使动量增加对叶片的上风向方位侧上的动量增加产生作用。

[0143] 示例

[0144] 现在参考下面的示例,这些示例与上述描述一起以非限制的方式说明本发明的一些实施方式。以下是基于试验数据由发明人进行的一些计算,以将本发明的 VAWT 中的叶片产生的功率与典型的 VAWT 叶片产生的功率进行比较,典型的 VAWT 叶片没有向在其上流动的空气给予任何动量。

[0145] 完成了对具有 9 英寸弦(c)和 24 英寸跨度(203mm×610mm)的 NACA0012 机翼的实验,该机翼配备有五十个表面压力端口和宽度为 $h_s=0.6\text{mm}$ 的二维前缘主动流控制槽。机翼肋骨部分被除去以呈现用作为静压箱基本空心的内部。用于在边界层产生激流丝的粗糙带(粒度# 100)固定在前缘并在顶部表面和底部表面两者上延长至 4%弦。通过上表面边界层中的热线测量,扩充了表面压力数据,而表面安装的丝丛用于基本的流可视化。因此,机翼是单槽机翼,如图 3A 所示。

[0146] 测试在 610mm×1500mm 测试段风洞中进行。表面测量借助于压力传感器 **PS4000®**阵列(AA 实验室系统)完成。在后缘下游大约四弦长处使用一把总头探针进行总拖曳力测量。研究中所考虑的雷诺数范围为 $100,000 \leq Re \leq 480,000$ 。

[0147] 机翼安装在低速($U_\infty < 75\text{m/s}$)、低湍流、闭环的风孔中。两个法兰连接的并且有角的管段栓接至机翼的对应于 1/4 弦的位置的两侧。管段安装在风洞外的轴承上并用于双重目的:利于机翼俯仰和向机翼增压室引入稳定喷吹。借助于稳定的槽吹实现边界层控制。为了实现这个控制,一个法兰连接的段连接到 50kPa 鼓风机,其中,分别借助于转子流量计和热电偶来测量流量 Q 和温度 T。通过基本的质量守恒定律来计算槽射流速度 (U_j)。样品的升力系数和拖曳力系数被测量以计算不同的动量系数 [C_u (风洞)] 和不同的迎角,其中

$$[0148] \quad C_u(\text{风洞}) = (h_s/c) (U_j/U_\infty)^2$$

[0149] 动量系数表示添加到沿叶片一侧流动的流体的动量。测量到的升力系数和拖曳力系数用在用于计算涡轮机的功率系数 (C_p) 的涡轮机分析中,功率系数表示涡轮机的功率输出。

[0150] 在涡轮机分析中,叶片的局部动量系数 (C_u^*) 定义为:

$$[0151] \quad C_u^* = (h_s/c) (U_j/W)^2$$

[0152] 其中, W 是相对流速,该相对流速取决于风速并且取决于叶片的迎角。

[0153] 涡轮机的动量系数 (C_u) 是:

$$[0154] \quad C_u = (h_s/c) (U_j/V_\infty)^2$$

[0155] 其中, V_∞ 是风速。叶尖速与风速比 (tsr) 定义为:

$$[0156] \quad \text{tsr} = \omega R/V_\infty$$

[0157] 其中, ω 是 VAWT 中的叶片的转速, R 是 VAWT 的半径(即叶片离 VAWT 中心的距离)。

[0158] 分析了两种增加动量的方法:(i) 保持 C_u^* 恒定,以及(ii) 保持 C_u 恒定。通过保持 C_u^* 恒定,射流的速度 (U_j) 根据叶片的位置改变,并且给予流体流恒定的动量。这称为脉冲式喷吹。相对地,通过保持 C_u 恒定,射流的速度保持恒定,但给予流体流的动量随叶片位置而改变。

[0159] 图 12 是不同功率与 tsr 曲线的图示,每条曲线对应于通过根据图 6B 的叶片给予叶片周围流动的空气的恒定动量。为了计算 VAWT 的功率系数,试验数据的结果被引入涡轮机分析模型中,其中,脉冲式喷吹产生作用 (U_j 是变化的) 以保持叶片的下风向方位的侧上的动量增加恒定。为了进行该计算,建立下述理论:阀被操作以防止射流通过上风向方位

的槽离开。示出了：当穿过槽的射流高于零并且动量系数保持恒定时，用于的 VAWT 所得到的功率系数高于在低的 t_{sr} 时由基线条件所提供的功率系数。在高 t_{sr} 时，计算的功率系数对应于基线功率系数。术语“基线”是指没有喷吹并因此没有穿过槽的流体射流的条件。

[0160] 图 13 是当恒定的动量被传授给叶片周围流动的空气时不同的功率与 t_{sr} 曲线的图示，每条曲线对应于不同的系统功率损耗。为了计算功率系数，引入系统损耗因数 Φ 。图 13 所示的是：即使当系统损耗因数 Φ 是 0.75 (75%) 时，在低 t_{sr} 处，由具有产生脉冲式射流的双槽叶片的 VAWT 所提供的功率系数高于基线功率系数。通常，更好的系统设计是具有相对低的 Φ 的设计。因数 Φ 单独取决于设计构思。作为一般规则，涡轮机设计的目的是要保持 $\Phi \ll 1$ 。

[0161] 图 14 是当变化的动量通过单槽叶片配置被给予叶片周围流的空气时不同的功率与风速曲线的图示，每条曲线对应于不同的系统功率损耗。为了计算 VAWT 的功率系数，试验数据的结果被引入涡轮机分析模型中，其中，恒定的喷吹产生作用 (U_j 是恒定的) 以在叶片的下风向方位的侧上提供变化的动量增加。为了进行该计算，建立下述理论：仅当激活的叶片侧是下风向方位时，喷射才继续进行。图 14 示出了：对于高于约 5m/s 的风速，甚至当 $\Phi=0.75$ 时，上述 VAWT 的输出功率高于基线输出功率。速度历时曲线示出：即使超过 5m/s 的风速不太常见，但是这样的风依然存在并且可以被这样的 VAWT 使用。尽管事实上在一年的大部分时间风速类似于基线情况，但是当一年中风速高的那部分时间在受控的情况下(即在动量加入到在叶片上的流体流的情况下)产生很大程度增加的功率，然而未受控的(基线)涡轮机不产生显著大的功率。

[0162] 图 15 是当 $\alpha \geq 8^\circ$ 时当振荡的动量通过双槽叶片配置被给予叶片周围流动的空气时不同的功率与风速曲线的图示，每条曲线对应于不同的系统功率损耗。为了计算 VAWT 的功率系数，试验数据的结果被引入涡轮机分析模型中，其中，脉冲式的喷吹产生作用以在叶片的下风向方位的侧上提供恒定的动量增加。为了进行该计算，建立下述理论：控制器被操作以防止射流通过上风向方位的槽喷出。图 15 示出了：对于高于约 5m/s 的风速，甚至当 $\Phi=0.75$ 时，上述 VAWT 的输出功率高于基线输出功率。速度历时曲线示出：即使超过 5m/s 的风速不太常见，但是这样的风依然存在并且可以被这样的 VAWT 使用。尽管事实上在一年的大部分时间风速类似于基线情况，但是当一年中风速高的那部分时间在受控的情况下(即在动量加入到叶片上的流体流中的情况下)产生很大程度增加的功率，然而未受控的(基线)涡轮机不产生显著大的功率。

[0163] 图 16 是占不同系统功率损耗的由两槽叶片配置和单槽叶片配置在一年中生成的功率的图示。使用图 14 和 15 中出现的风持续时间曲线，该曲线示出了未受控的(基线)VAWT 一年产生大约 44.5MWh。相比之下，即使对于 0.75 的系统损耗，特征为单槽叶片、产生恒定的射流并且 $C_{u1}=60\%$ 的 VAWT 一年提供 55.8MWh。此外，即使占 0.75 的系统损耗，具有产生可变的射流以使得 C_{u1}^* 保持在 3.66% 恒定的振荡阀并在 $\alpha \geq 8^\circ$ 时操作的两槽叶片一年中产生 119MWh——超过未受控的 VAWT 的年功率的 2.5 倍。

[0164] 因此，本发明提出了一种使 VAWT 的性能能够显著提高的简单而有效的技术。

[0165] 本领域的普通技术人员容易理解到，各种各样的修改和变化可以应用于在所附权利要求中限定的并被所附权利要求限定的本发明的实施方式。

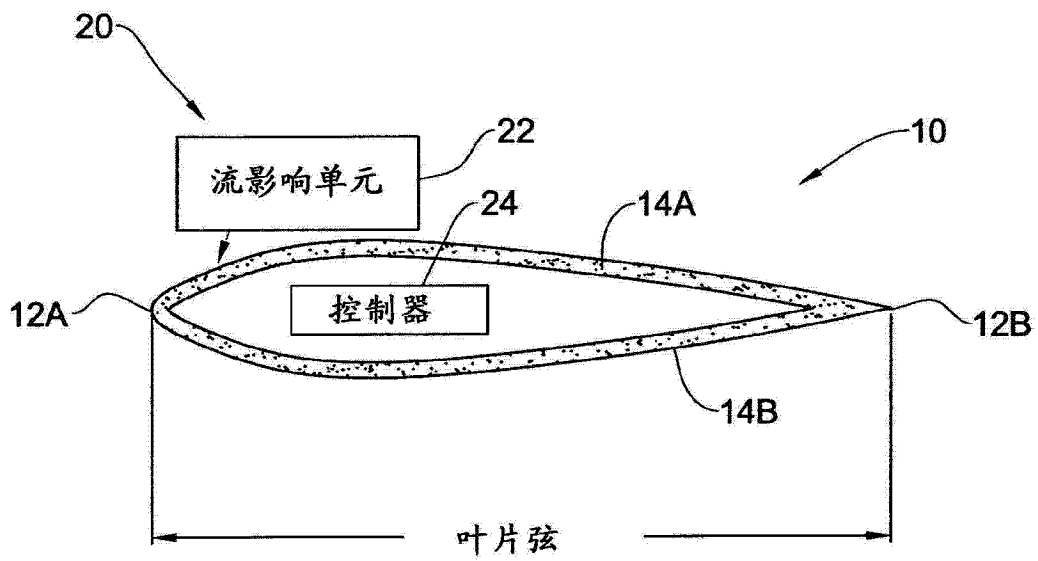


图 1A

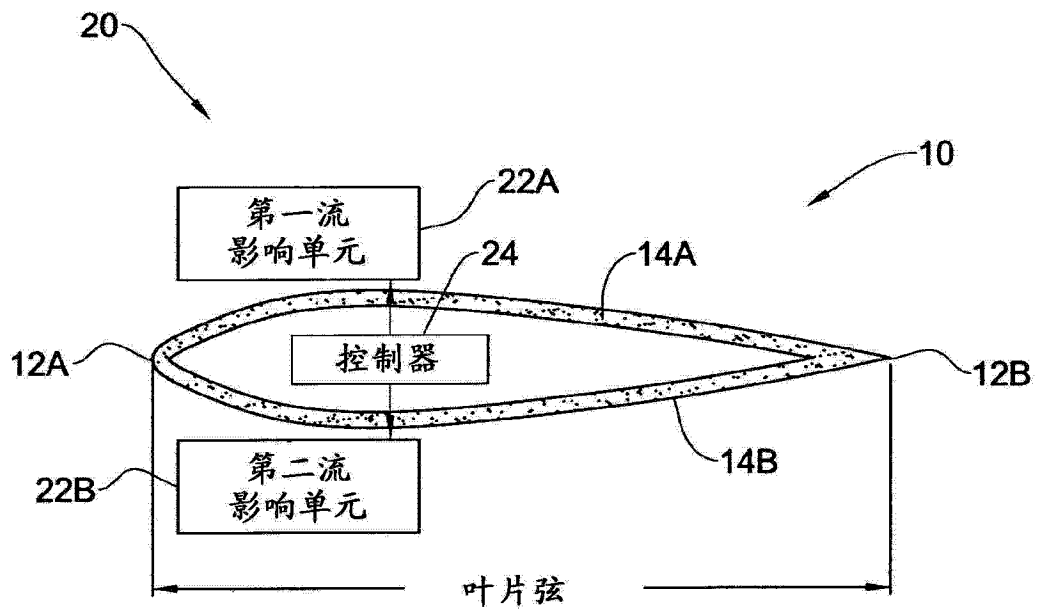


图 1B

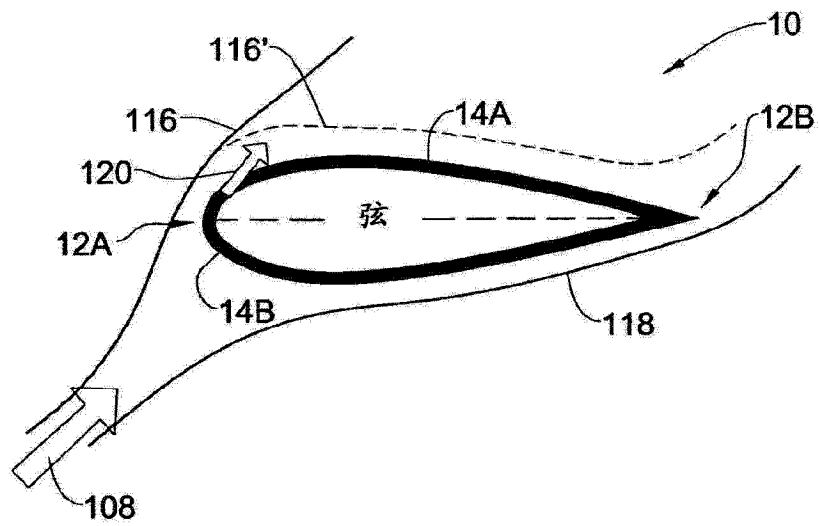


图 2A

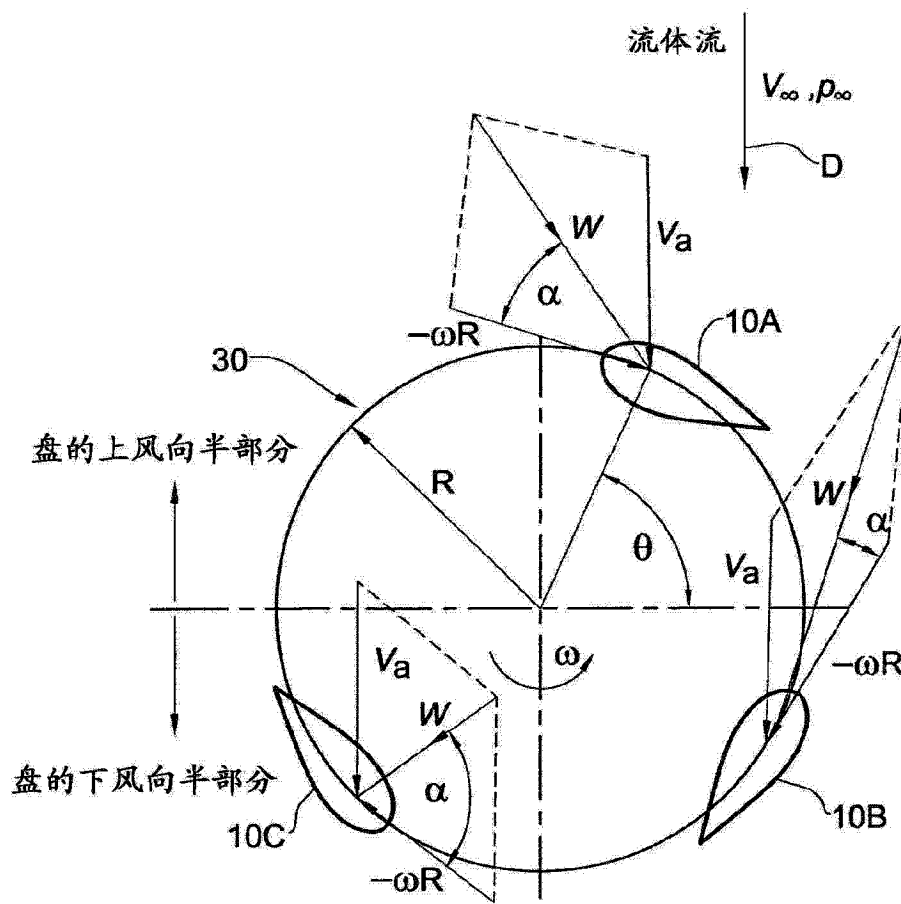


图 2B

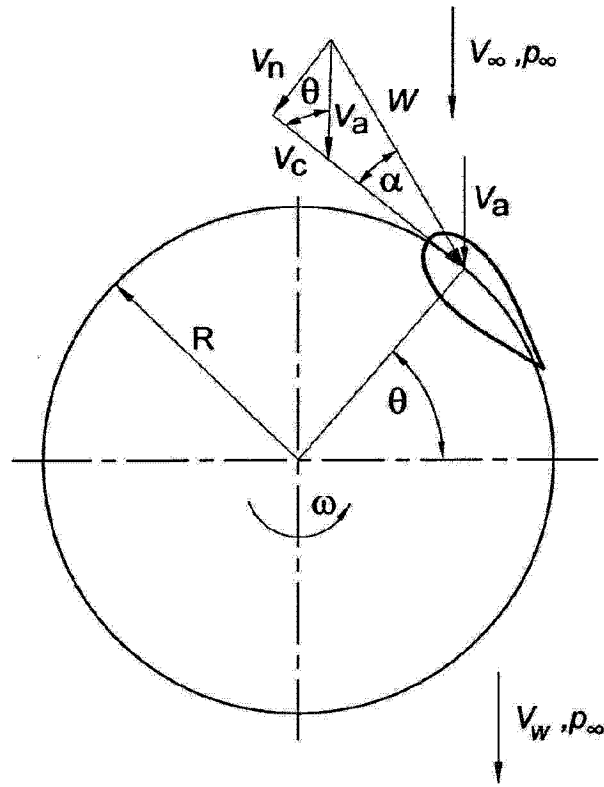


图 2C

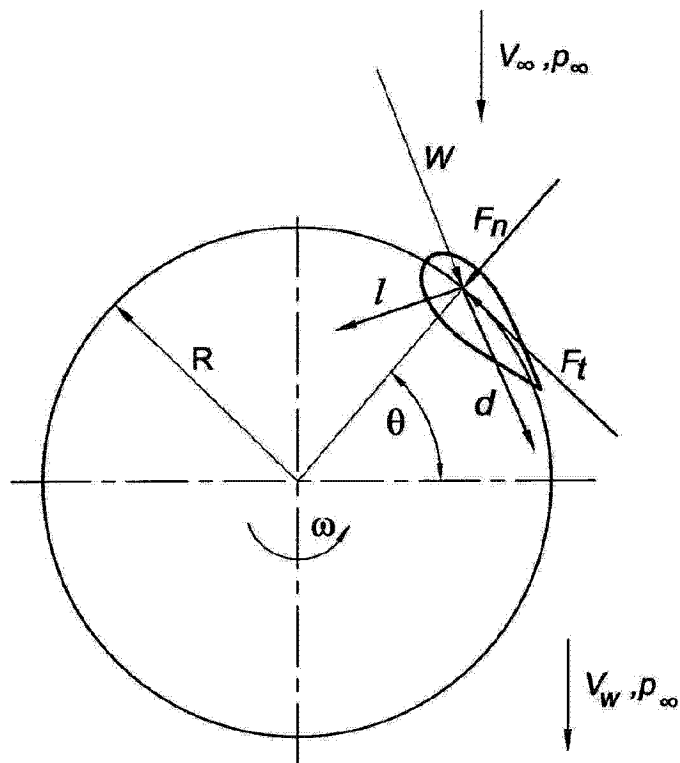


图 2D

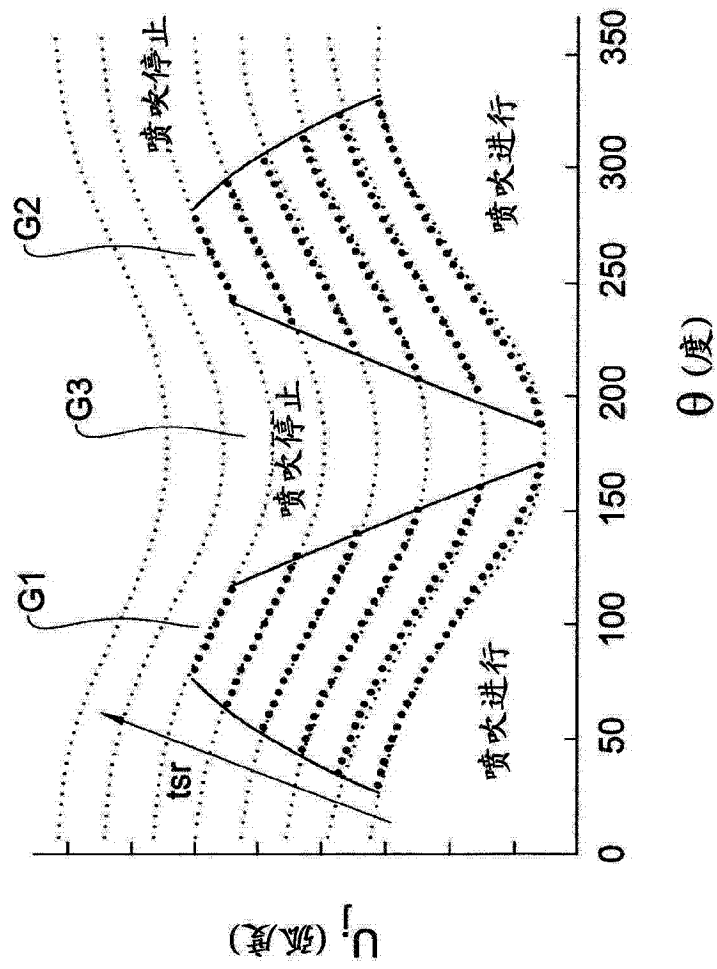


图 2E

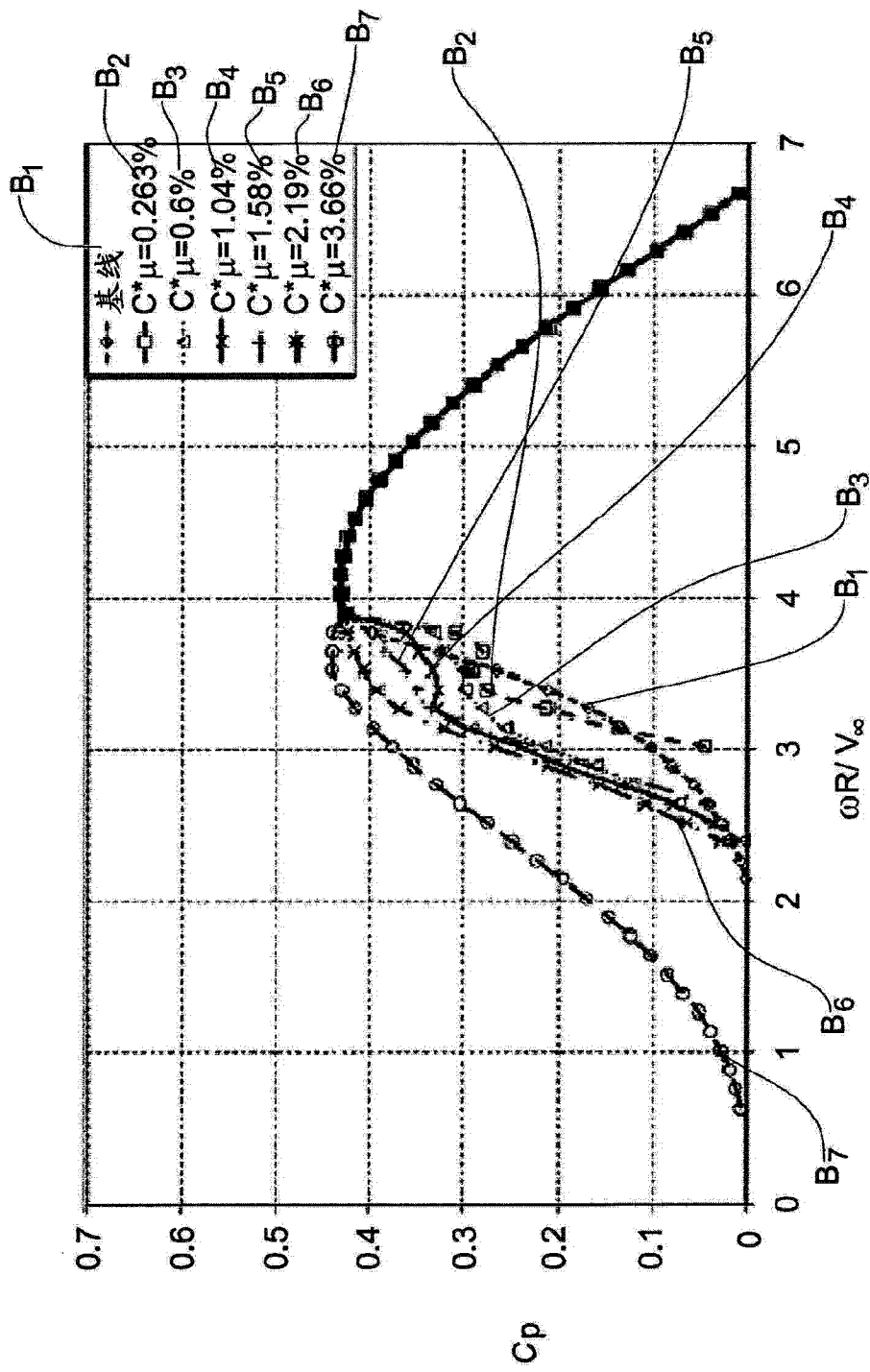


图 3A

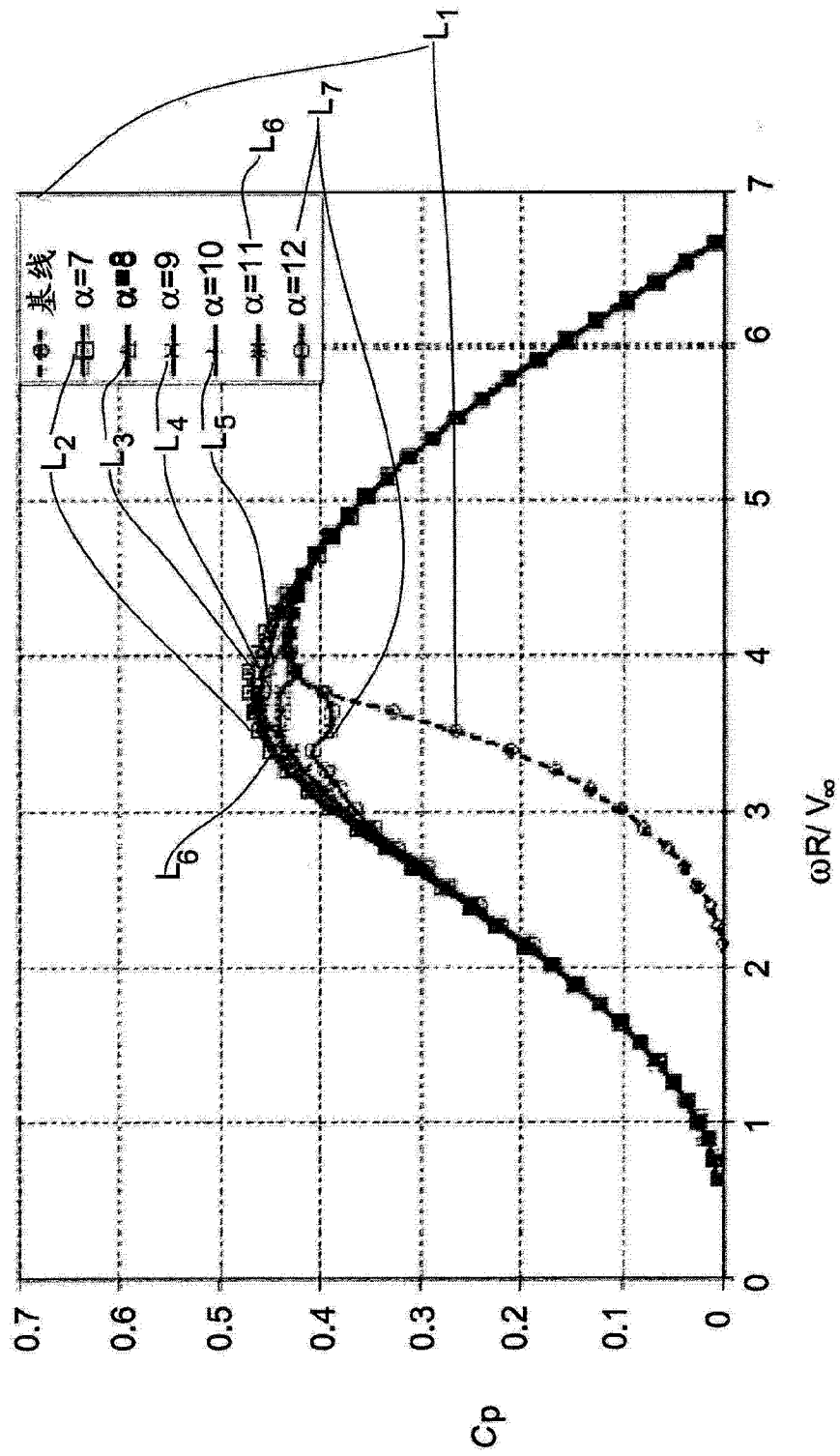


图 3B

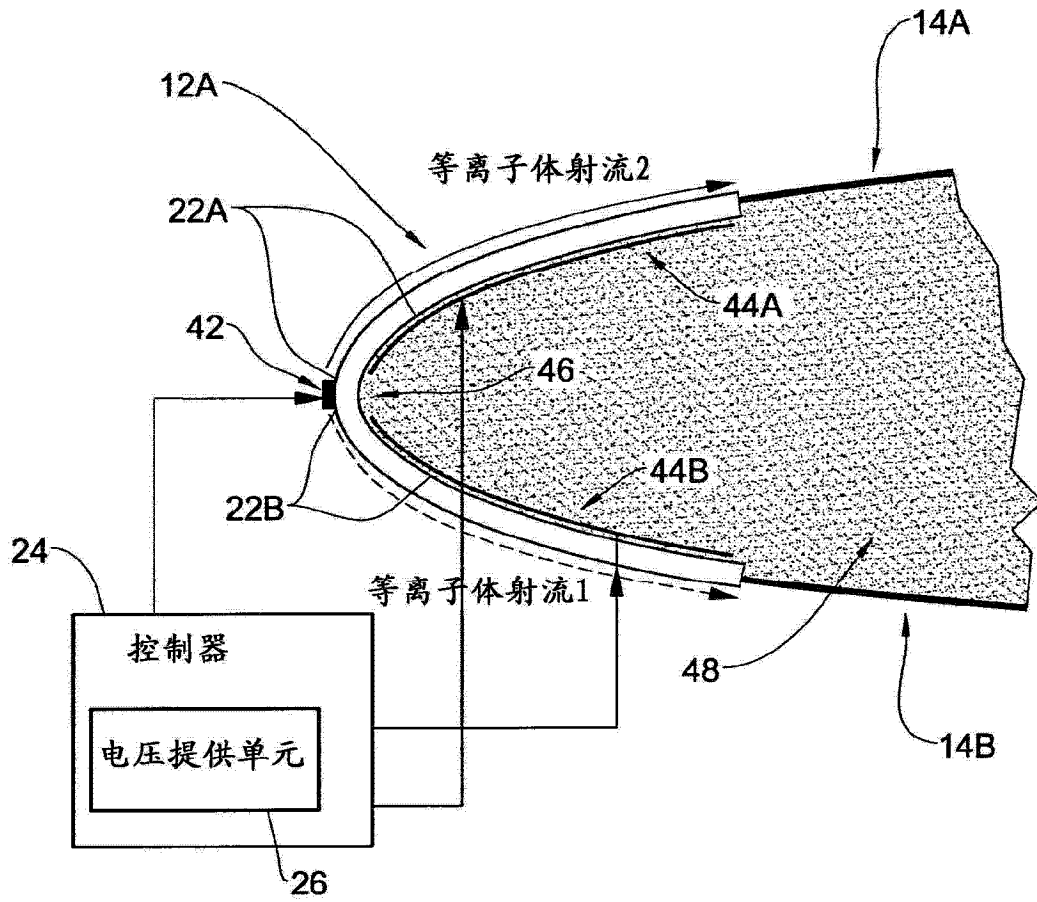


图 4

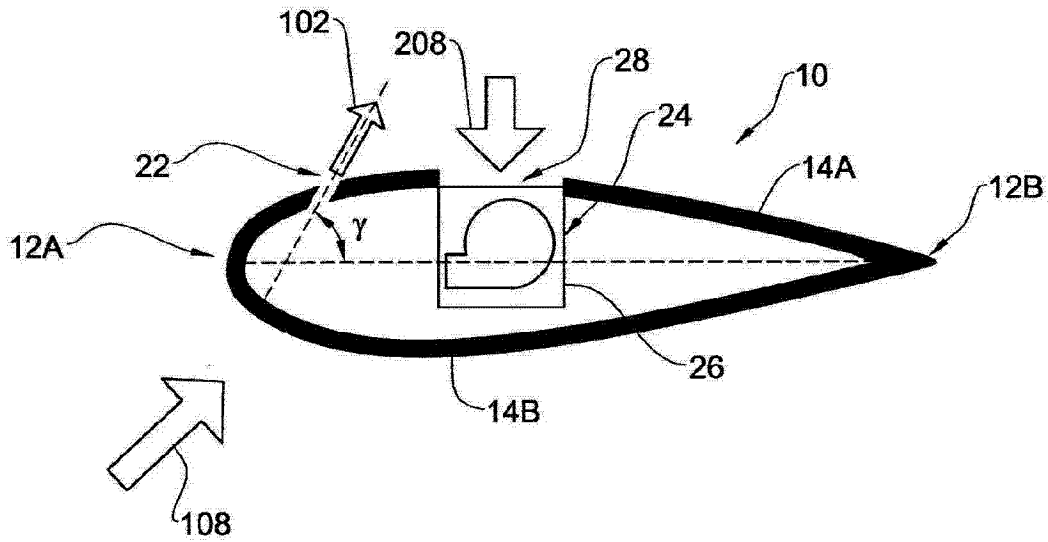


图 5A

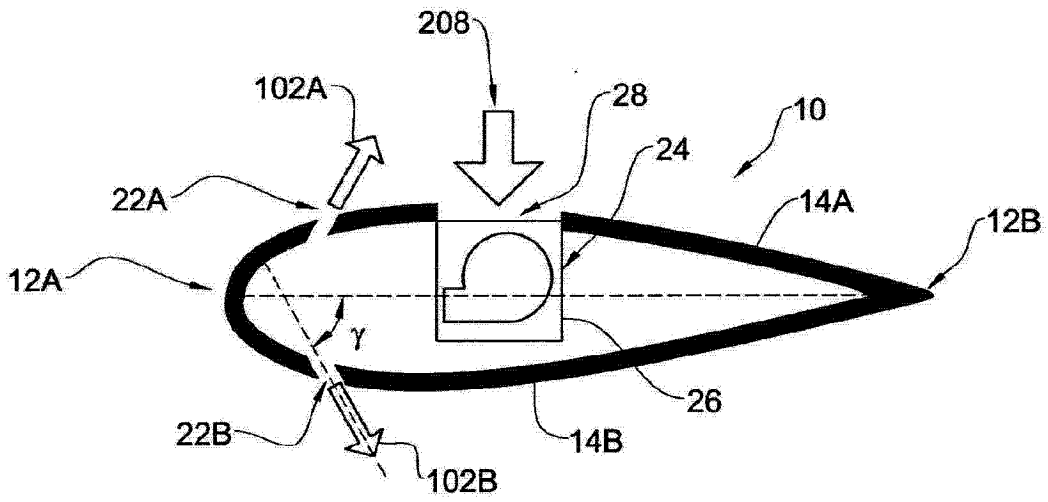


图 5B

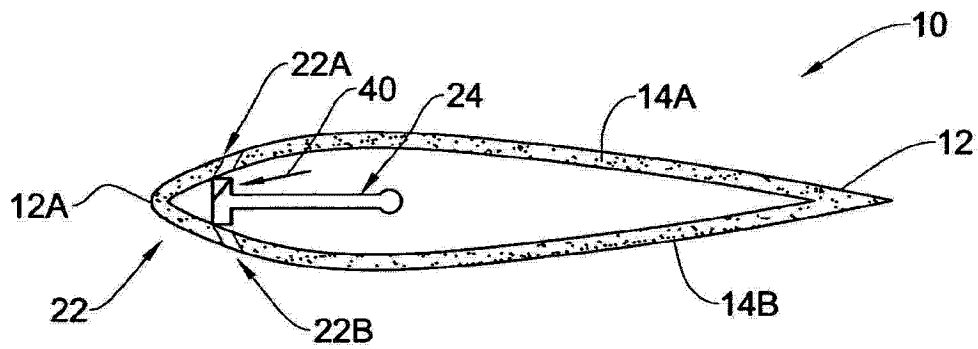


图 6A

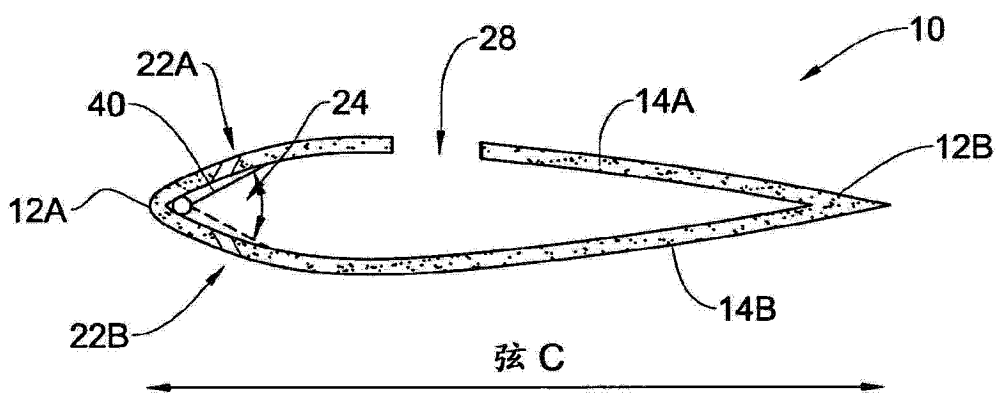


图 6B

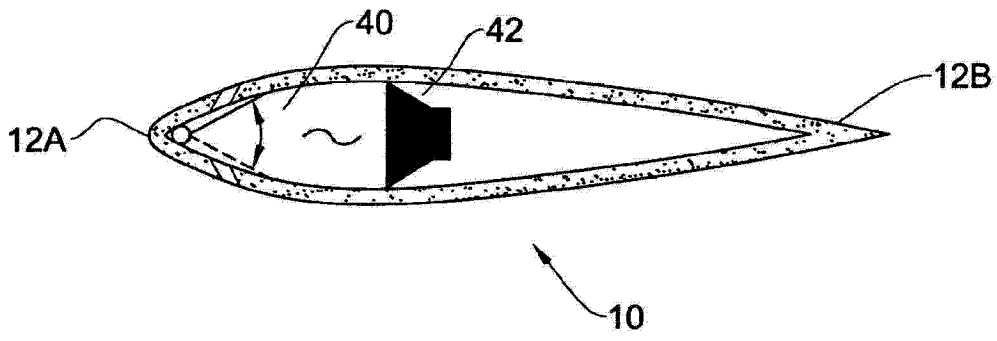


图 6C

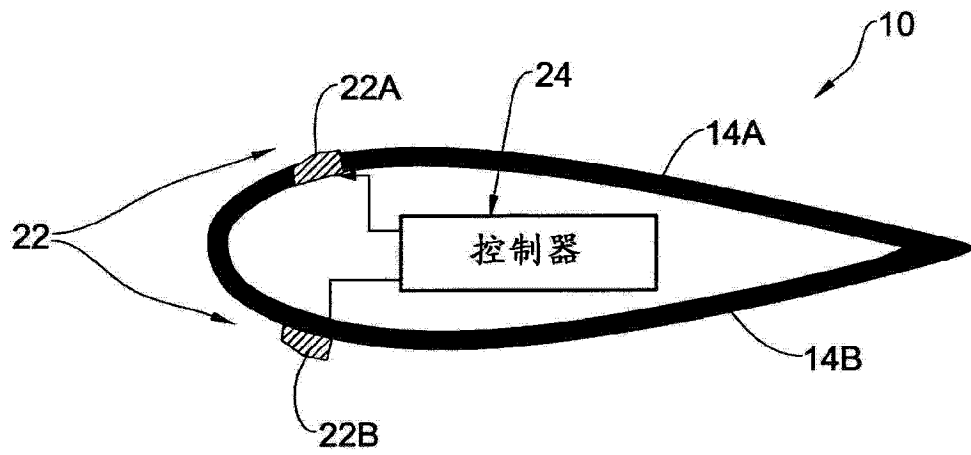


图 7A

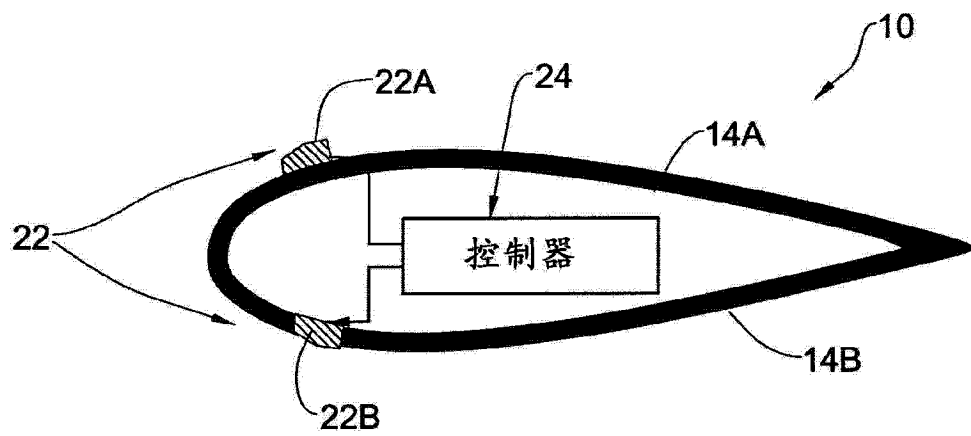


图 7B

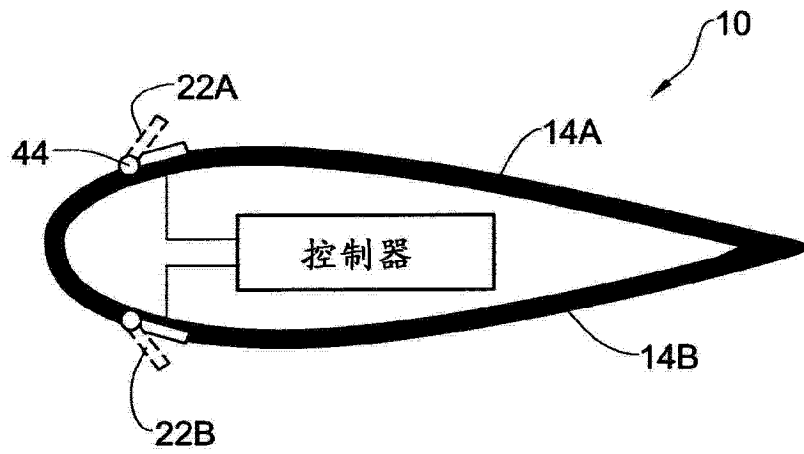


图 8

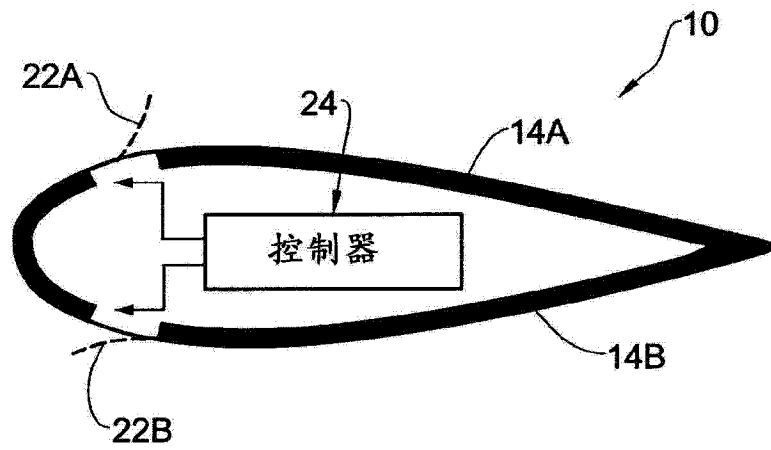


图 9

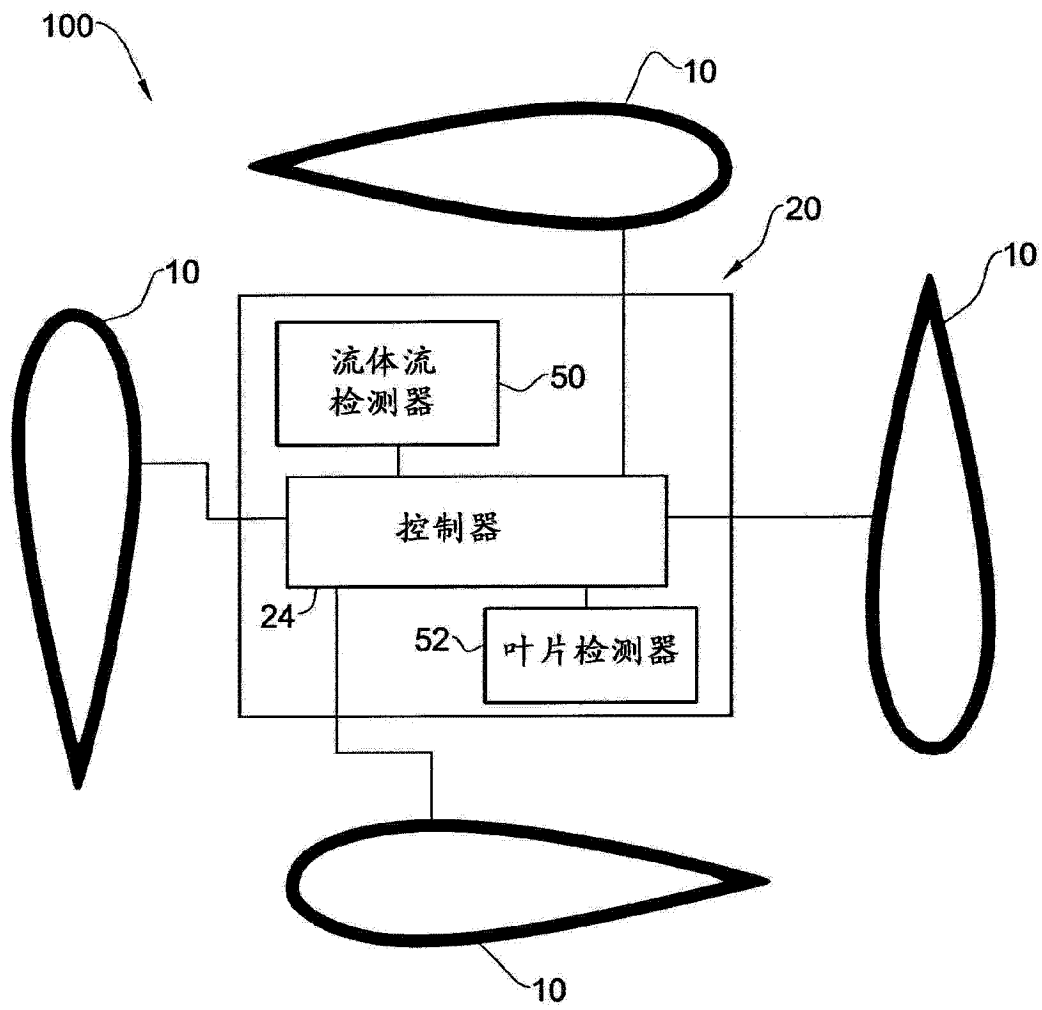


图 10

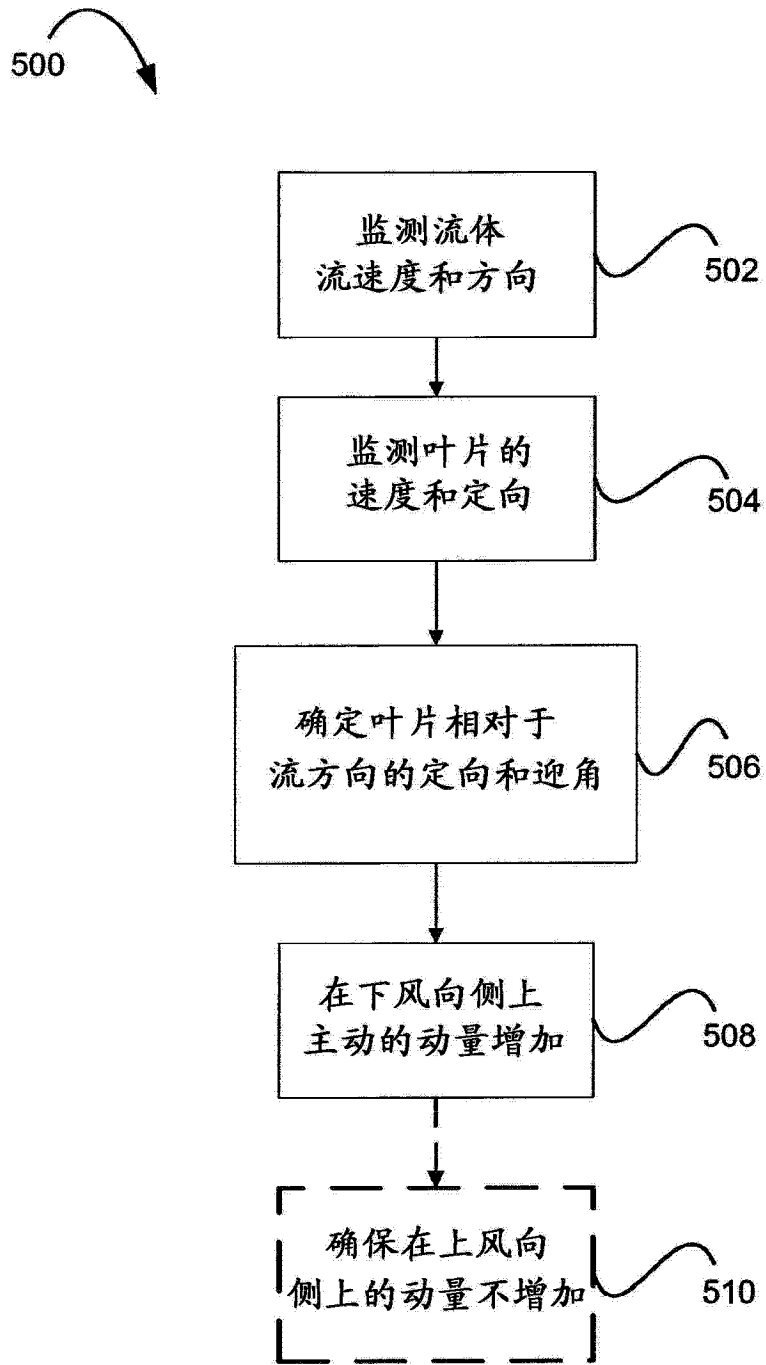


图 11

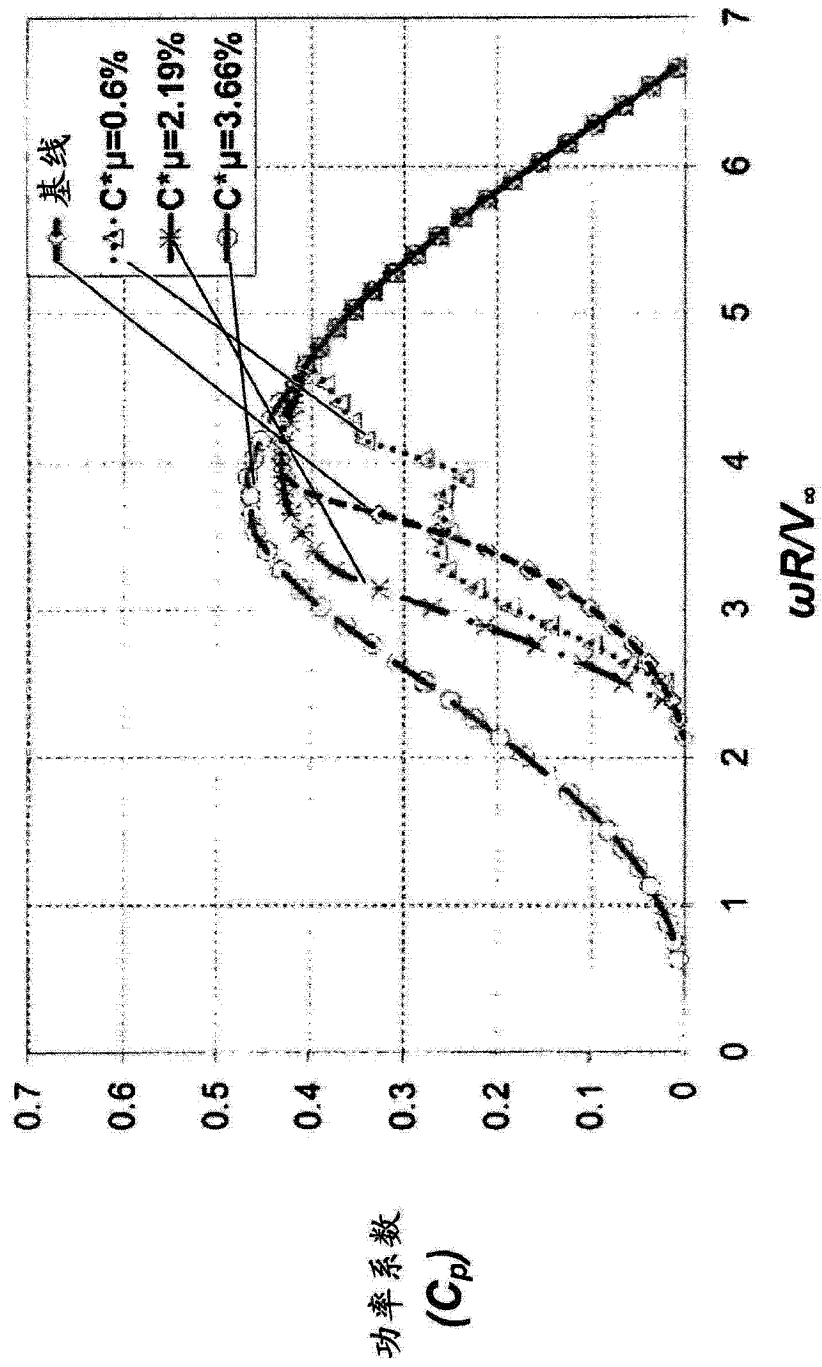


图 12

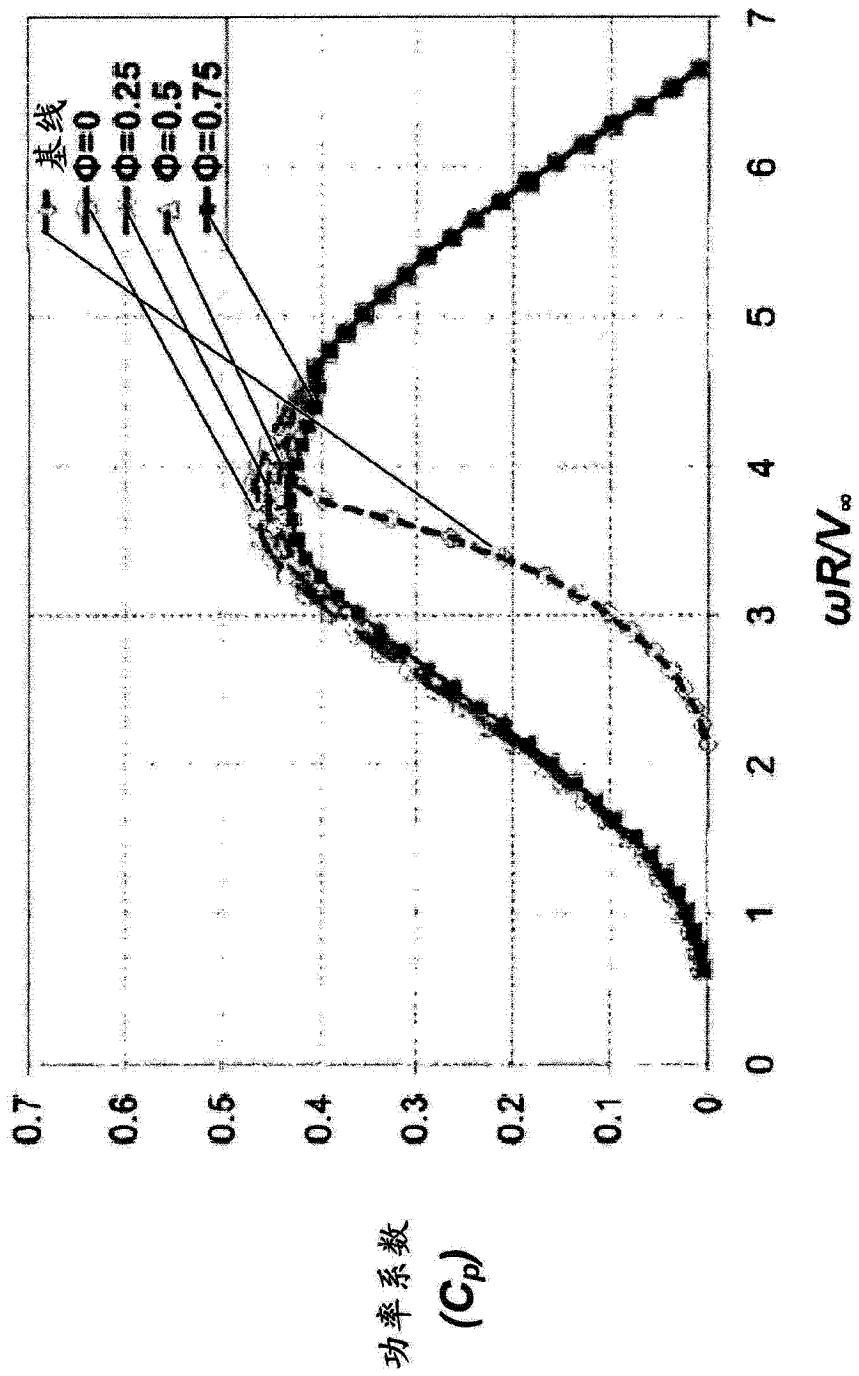


图 13

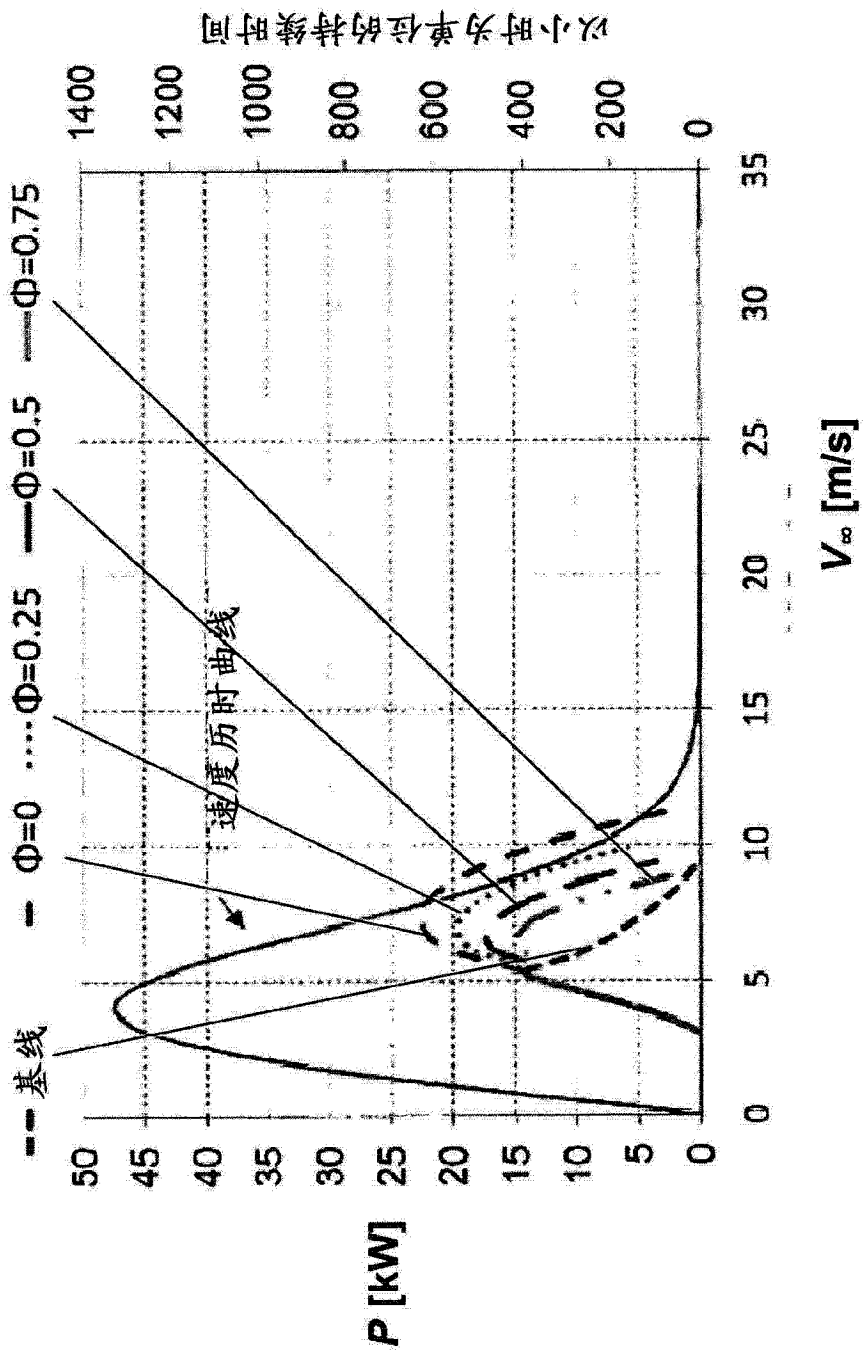


图 14

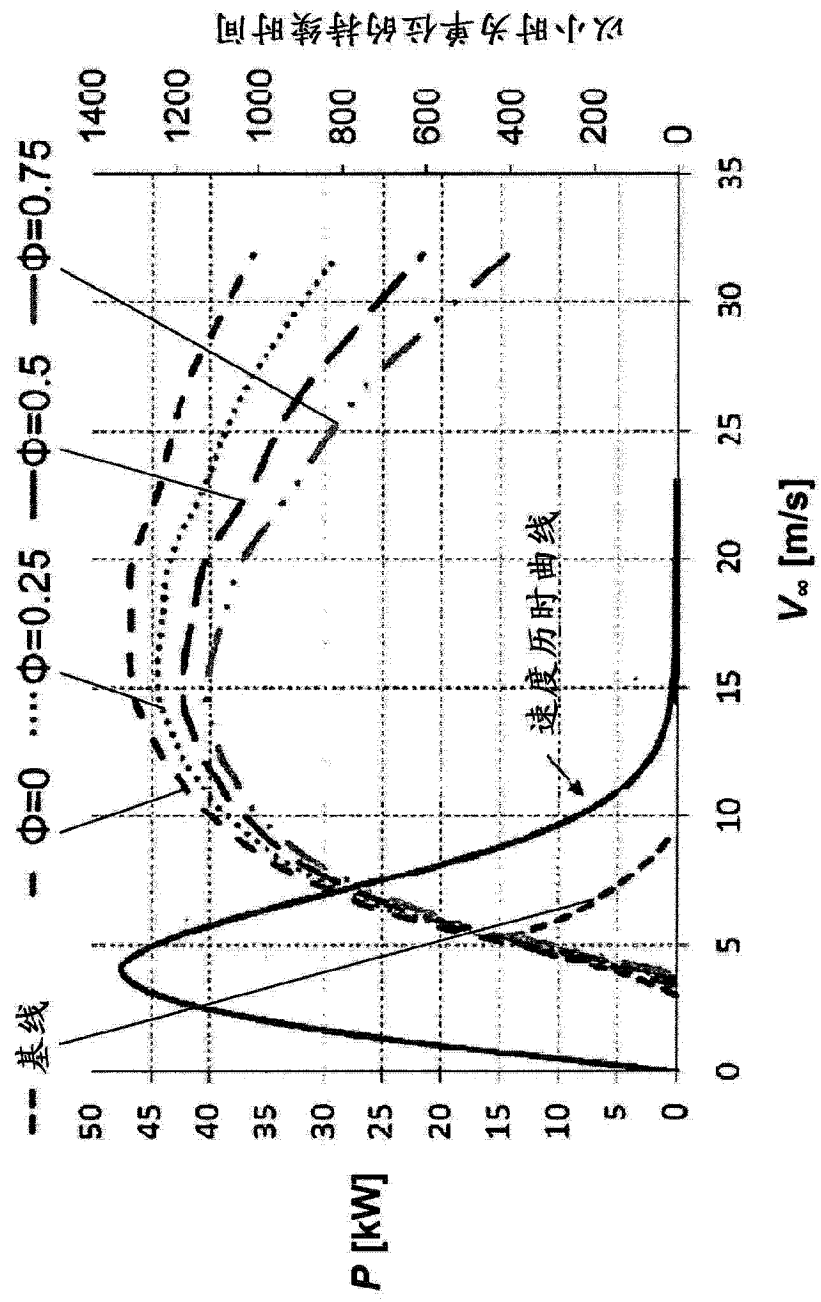


图 15

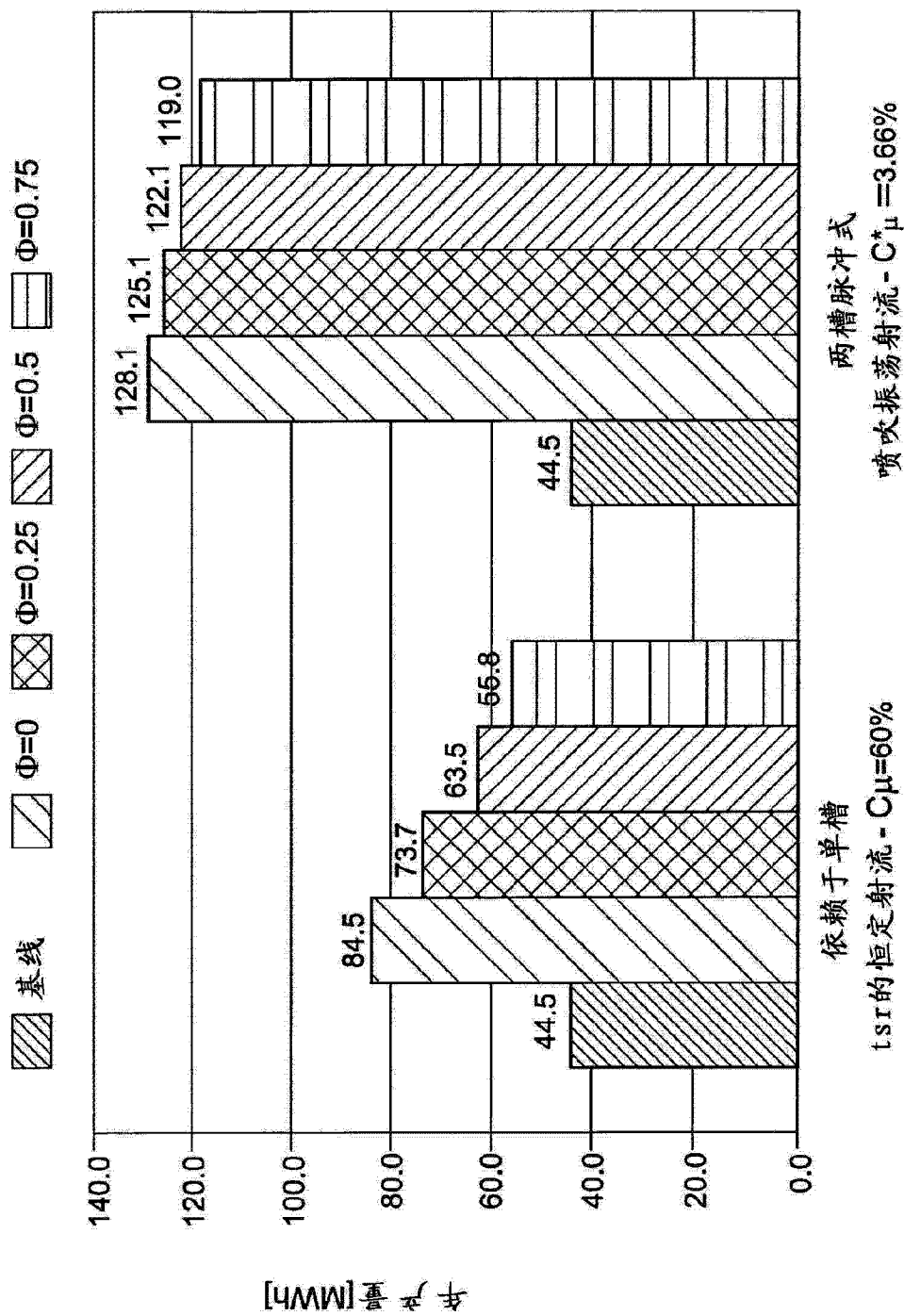


图 16