



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103974878 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 06

(21) 申请号 201280046107. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 07. 16

B64C 23/06 (2006. 01)

(30) 优先权数据

F03D 1/06 (2006. 01)

11175052. 7 2011. 07. 22 EP

F03D 11/04 (2006. 01)

11175051. 9 2011. 07. 22 EP

1202894. 0 2012. 02. 21 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 03. 21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2012/063915 2012. 07. 16

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/014015 EN 2013. 01. 31

(71) 申请人 LMWP 专利控股有限公司

地址 丹麦科灵

(72) 发明人 I. 维尔特 J. 梅森 R. 汉森

O. 米勒

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 李建新 何逵游

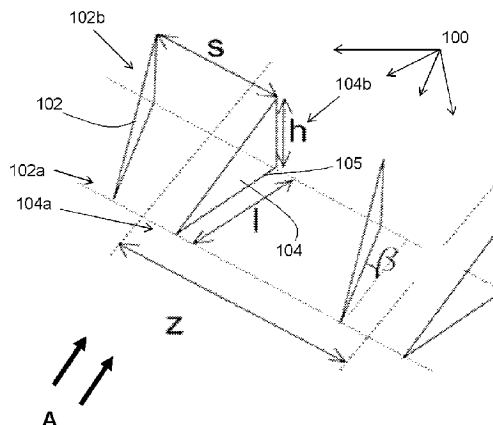
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

用于翼型的涡流发生器装置

(57) 摘要

本发明描述了一种用于翼型(50)的涡流发生器(100)的特定装置。涡流发生器(100)设置成对,优选在风力涡轮机叶片(10)上,其中通过根据特定特征布置涡流发生器,提供了优于现有技术的系统的叶片性能上的令人惊讶的改善。



1. 一种用于在翼型轮廓上使用的涡流发生器 (VGs) 的装置, 所述翼型轮廓具有前缘和后缘, 所述 VGs 提供为一排成对的 VGs, 所述 VGs 包括从所述翼型轮廓的表面伸出的基本三角形的 VG 导叶, 所述对中的每一个均包括第一 VG 和第二 VG, 其中所述 VGs 包括:

朝所述前缘提供的第一端;

朝所述后缘提供的第二端;

在所述翼型的表面附近在所述第一端与所述第二端之间延伸的基部; 以及

设在所述三角形 VG 导叶的远侧端处的尖部, 其中所述 VGs 关于所述翼型的主要流向偏斜, 其中所述相邻 VGs 的所述第一端形成所述 VG 对的窄的相对会聚的端, 且所述相邻 VGs 的所述第二端形成所述 VG 对的较宽的相对扩散的端, 以及其中

l 为所述 VGs 的所述基部的长度;

s 为 VG 对中的所述第一和第二 VGs 的各自的第二端之间的距离;

h 为离 VG 对中的 VG 的所述尖部的所述表面的高度;

z 为所述排中的相邻 VG 对的所述第一与第二 VGs 之间限定的标称中心线之间的距离;

以及

β 为所述 VGs 关于所述翼型的流向的偏斜角,

其特征在于:

l/h 在 1-5 之间,

s/h 在 4-15 之间;

z/h 在 7-20 之间; 以及

β 在 6 度至 16 度之间。

2. 根据权利要求 1 所述的涡流发生器装置, 其中, 所述尖部端设在所述第二端附近。

3. 根据权利要求 1 或权利要求 2 所述的涡流发生器的装置, 其中, 所述 VGs 包括直角三角形 VG 导叶, 其中所述导叶的斜边从所述第一端处的所述基部延伸至所述第二端处的所述远侧尖部。

4. 根据权利要求 1 至权利要求 3 中任一项所述的涡流发生器的装置, 其中, l/h 为大约 2。

5. 根据权利要求 1 至权利要求 4 中任一项所述的涡流发生器的装置, 其中, s/h 在 6 至 10 之间。

6. 根据权利要求 5 所述的涡流发生器的装置, 其中, s/h 为大约 7。

7. 根据任意前述权利要求所述的涡流发生器的装置, 其中, z/h 在 8 至 15 之间。

8. 根据权利要求 7 所述的涡流发生器的装置, 其中, z/h 为大约 10。

9. 根据任意前述权利要求所述的涡流发生器的装置, 其中, β 在 9 度至 13 度之间。

10. 根据权利要求 9 所述的涡流发生器的装置, 其中, β 为大约 13 度。

11. 根据权利要求 1 所述的涡流发生器的装置, 其中, 角 β 从所述各自的第一端朝所述第二端测得。

12. 根据任意前述权利要求所述的涡流发生器的装置, 其用于在具有大于 30 米的长度的风力涡轮机叶片上使用。

13. 一种具有根据权利要求 1 至权利要求 12 中任一项所述的涡流发生器的装置的风力涡轮机叶片。

14. 根据权利要求 13 所述的风力涡轮机叶片,其中,所述风力涡轮机叶片具有大于 30 米的长度。

15. 一种具有如权利要求 13 或权利要求 14 中所要求的至少一个风力涡轮机叶片的风力涡轮机。

用于翼型的涡流发生器装置

技术领域

[0001] 本发明涉及翼型中的涡流发生器的装置,特别是在风力涡轮机叶片上。

背景技术

[0002] 在风力涡轮机叶片空气动力学中,边界层分离在翼型轮廓经历相对较高的冲角时发生,这能引起附着的气流从翼型的吸力侧的分离。此类边界层分离导致由翼型生成的升力的减小。

[0003] 涡流发生器在风力涡轮机叶片上使用,以便当叶片的空气动力轮廓由入射的气流冲击时引起湍流的气流涡流。这些涡流的产生用于延迟附着的气流从空气动力轮廓的分离,从而改善用于较宽范围的冲角的叶片性能。

[0004] 由 Godard 等人所著的 2006 年的论文 [G. Godard 和 M. Stanislas ;Control of a decelerating boundary layer. Part 1: Optimization of passive vortex generators; Aerospace Science and Technology 10(2006)181-191] (《航天科技》2006 年第 10 卷的 181-191 页收录的 G. Godard 和 M. Stanislas 所著的《减速边界层的控制,第一部分:被动涡流发生器的最优化》) 呈现了翼型上的对于一连串涡流发生器对的最佳布置,且已经被看作是限定的标准布置方案。

[0005] 参看图 4, Godard 描述了用于在翼型(例如,风力涡轮机叶片)上使用的一排成对的三角形涡流发生器或 VGs 100。成对的 VGs 布置在翼型的吸力侧上,在纵向方向上沿翼型的至少一部分延伸。各对 VGs 均包括设在彼此附近的第一涡流发生器 102 和第二涡流发生器 104。独立的 VGs 102、104 具有朝翼型的前缘布置的第一端 102a、104a,以及朝翼型的后缘布置的第二端 102b、104b。

[0006] VGs 102、104 具有直角三角形轮廓,所述三角形轮廓的第一直角边(leg)形成附接到翼型的表面上的 VG 的基部,而所述三角形轮廓的第二直角边在 VG 的所述第二端处从基部伸出。所述轮廓的斜边从基部处的 VG 的第一端延伸至 VG 的第二端的远侧点。

[0007] 各个对 100 的 VGs 102、104 从翼型上的入射流(由箭头 A 指出)的方向偏斜从各自的第一端朝第二端测得的角 β ,使得相邻的 VGs 的第一端形成 VG 对的较窄的相对会聚的端,且相邻的 VGs 的第二端形成 VG 对的较宽的扩散端。

[0008] 在 Godard 的研究中,其中:

l 为 VGs 的基部的长度;

s 为 VG 对中的第一和第二 VGs 的各自的第二端之间的距离;

h 为 VG 对中的 VGs 的第二端的高度;以及

z 为相邻的 VG 对的第一与第二 VGs 之间的标称中心线之间的距离,

发现对于具有一排 VG 对的翼型的最佳性能具有以下条件:

$$l / h = 2$$

$$s / h = 2.5$$

$$z / h = 6$$

$\beta = 18$ degrees。

[0009] VG 对的 Godard 构造已经被当作用于翼型上的涡流发生器对的现有技术的装置。

发明内容

[0010] 作为实验的结果,令人惊讶的是,已经得出用于翼型(特别是用于风力涡轮机叶片)的涡流发生器对的改进的构造。

[0011] 因此,提供了用于在翼型轮廓(优选在风力涡轮机叶片上)上使用的涡流发生器(VGs)的装置,所述翼型轮廓具有前缘和后缘,所述 VGs 提供为一排成对 VGs,所述 VGs 包括从所述翼型轮廓的表面伸出的基本三角形的 VG 导叶,所述对中的每个均包括第一 VG 和第二 VG,其中所述 VGs 包括:

朝所述前缘提供的第一端;

朝所述后缘提供的第二端;

在翼型的表面附近在所述第一端与所述第二端之间延伸的基部;以及

设在所述三角形 VG 导叶的远侧端处的尖部,

其中所述 VGs 关于翼型的流向偏斜,且其中

l 为 VGs 的基部的长度;

s 为 VG 对中的第一和第二 VGs 的各自的第二端之间的距离;

h 为离 VG 对中的 VG 的所述尖部的所述表面的高度;

z 为排中的相邻 VG 对的第一与第二 VGs 之间限定的标称中心线之间的距离;以及

β 为 VGs 关于翼型的流向的偏斜角,

其特征在于:

l/h 为 1 至 5 之间,优选为大约 2;

s/h 在 4 至 15 之间,优选为 6 至 10 之间,最优选大约 7;

z/h 在 7 至 20 之间,优选为 8 至 15 之间,最优选大约 10;以及

β 在 6 度至 16 度之间,优选为 9 度至 13 度之间,最优选为大约 12 度。

[0012] 通过根据这些范围布置涡流发生器,当相比于现有技术时,在翼型性能上存在令人惊讶的改善。尽管发现了独立的值和比率的变化增大了由涡流发生器相对于现有技术产生的阻力,但对于这些范围发现了令人惊讶的效果,其中当相比于现有技术的系统时,提出的涡流发生器装置作用以减小阻力且增大升力。

[0013] 作为优选,所述 VGs 包括直角三角形 VG 导叶,其中所述导叶的斜边从所述第一端处的基部延伸至所述第二端处的远侧尖部。

[0014] 作为优选,所述 VG 对的 VGs 关于在翼型上的流向成角。作为优选,所述 VG 对的 VGs 以会聚布置设在 VG 对的第一端处。

[0015] 作为优选,相邻 VGs 的第一端形成 VG 对的较窄的相对会聚的端,且相邻 VGs 的第二端形成 VG 对的较宽的扩散端。

[0016] 作为优选,角 β 从各自的第一端朝第二端测得。

[0017] 还提供了一种风力涡轮机叶片,其具有如上文所述的涡流发生器装置,以及具有至少一个此类风力涡轮机叶片的风力涡轮机。

[0018] 在另一方面,提供了一种装配或改造风力涡轮机叶片上的涡流发生器的方法,风

力涡轮机叶片安装在风力涡轮机轮毂上,且在纵向方向上延伸,并具有尖部端和根部端,风力涡轮机叶片还包括成型轮廓,该成型轮廓包括压力侧和吸力侧以及具有翼弦的前缘和后缘,翼弦具有在前缘和后缘之间延伸的弦长,成型轮廓在由入射气流冲击时生成升力。该方法包括识别风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离线或一个或更多分离点,以及将包括第一涡流面板的一个或更多涡流面板安装在风力涡轮机叶片的分离线与前缘之间的风力涡轮机叶片的吸力侧上,该第一涡流面板包括至少一个涡流发生器。

[0019] 根据本发明的方法使得能够提供一种具有改善的空气动力特性的风力涡轮机叶片,从而使来自于具有相应的风力涡轮机叶片的风力涡轮机的更高能量产量成为可能。

[0020] 识别风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离线或一个或更多分离点可包括确定表现出一个或更多测量点或地带中的流特性的至少一个参数。

[0021] 作为优选,安装一个或更多涡流面板包括将一个或更多涡流面板安装在分离线在从 0.1m 至 1.5m 的范围内的距离处,例如,在从 0.2m 至 1m 的范围内,如,大约 0.5m。

[0022] 作为优选,识别分离线包括确定风力涡轮机叶片的吸力侧的至少一个区段上的沉积物的分布,以及基于沉积物的分布识别分离线。

[0023] 作为优选,沉积物的分布通过确定至少一个参数来测得,该参数表现出风力涡轮机的吸力侧上的多个测量点或地带中的沉积物的量。

[0024] 作为优选,表现出沉积物的量的第一参数为测量点或地带中的沉积物的厚度。

[0025] 作为优选,表现出沉积物的量的第二参数为测量点或地带的颜色。

[0026] 作为优选,当风力涡轮机已经操作至少一天时,执行识别风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离线。

[0027] 作为优选,该方法包括:

将分离线指示剂应用于风力涡轮机的吸力侧,

操作风力涡轮机一段时间,以及

其中识别风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离线是基于在风力涡轮机的操作期间或之后的分离线指示剂。

[0028] 作为优选,分离线指示剂为涂层,其促进在操作期间材料沉积在涂层上或去除涂层。

[0029] 作为优选,分离线指示剂包括压敏涂料。此外或作为备选,分离线指示剂包括粉末。

[0030] 作为优选,分离线指示剂包括一个或更多簇(tuft)。

[0031] 作为优选,识别风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离线包括识别在离根部端从 0.1L 至 0.4L 的范围内的距离处的分离线,其中 L 为叶片的纵向长度。

[0032] 作为优选,识别分离线包括确定在操作期间的风力涡轮机的吸力侧上的多个测量点或地带中的风流方向,且基于风流方向识别分离线。

[0033] 作为优选,该方法包括用颗粒供给吸力侧流来将颗粒沉积在吸力侧表面上,且其中识别风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离线是基于风力涡轮机叶片的吸力侧上的颗粒沉积物的分布。

[0034] 在另一方面,提供了一种用于具有基本水平的转子轴线的风力涡轮机的转子的风力涡轮机叶片,提供了转子,该转子包括轮毂,风力涡轮机叶片在安装到轮毂上时基本在径

向方向上从轮毂延伸,风力涡轮机叶片在纵向方向上沿俯仰轴线延伸,且具有尖部端和根部端以及叶片长度,风力涡轮机叶片还包括成型轮廓,其包括压力侧和吸力侧,以及具有翼弦前缘和后缘,翼弦具有在其间延伸的弦长,成型轮廓在由入射气流冲击时生成升力,其中风力涡轮机叶片的吸力侧设有沿安装线定位的多个涡流发生器,安装线具有离根部端最近的近侧端点和离尖部端最近的远侧端点。安装线从风力涡轮机叶片的后缘看可为凹线。

[0035] 根据本发明的风力涡轮机叶片允许涡流发生器构造,其中涡流发生器布置成接近没有涡流发生器的对应的风力涡轮机叶片的吸力侧上的可能的或预期的流分离的区,该流分离由根部区域和过渡区域的空气动力轮廓引起。因此,风力涡轮机叶片通过使分离朝后缘移动或甚至防止风力涡轮机叶片的吸力侧上的分离来提供改善的分离轮廓。同时,使来自于从吸力侧表面突出的涡流发生器的诱导阻力最小化。

[0036] 因为分离线的位置在不同操作状态期间变化,且涡流发生器的效果随着增大的距离而减小。期望的是,涡流发生器定位在预期的分离线与前缘之间,以便获得最佳的效果。此外,可期望将涡流发生器布置成离前缘尽可能远或尽可能近地靠近后缘,以便减小或消除阻力效应。涡流发生器典型地布置在风力涡轮机叶片的预期分离线与前缘之间。

[0037] 凹形安装线被理解为当投影到叶片的翼弦平面中时为凹形的线,或同样地,安装线在叶片的吸力侧的顶视图中从后缘可为凹形的。还应当理解的是,多个涡流发生器包括定位在近侧端点处的近侧涡流发生器和定位在远侧端点处的远侧涡流发生器,以及在近侧涡流发生器与远侧涡流发生器之间的至少一个中间涡流发生器。(多个)中间涡流发生器可定位在安装线上的(多个)中点处。在实施例中,安装线的线段(即,安装线的一部分)可为凹形的。

[0038] 多个涡流发生器可包括一组或多组涡流发生器,例如,第一组涡流发生器沿安装线的第一线段定位和/或第二组涡流发生器沿安装线的第二线段定位。多个涡流发生器或一组(多组)涡流发生器(如,沿第一线段定位的第一组涡流发生器和/或沿第二线段定位的第二组涡流发生器)可包括至少10个、至少20个、至少30个、至少40个或至少50个涡流发生器。

[0039] 安装线可沿着涡流发生器的中心位置,或作为备选,沿着涡流发生器的前缘。安装线或其(多个)线段可沿着线或基本与线一致,该线限定两点之间沿风力涡轮机叶片的吸力侧表面的最短路径,例如,在两个中点之间,或在安装线的端点与中点之间。

[0040] 安装线可沿叶片长度的一部分延伸。安装线可沿叶片长度的10%至50%延伸,如,沿15%至40%。在一个或更多实施例中,安装线沿叶片长度的20%至35%延伸。安装线可形成平滑的凹形曲线。然而,实际上,沿平滑的凹形曲线布置涡流发生器可能很麻烦,特别是因为涡流发生器通常安装在条上或通过条安装。因此,根据特别有利的实施例,凹形安装线被分成两个或更多直线段。

[0041] 安装线可包括至少一个中点,该至少一个中点包括第一中点,其中至少一个中点将安装线分成包括第一线段和第二线段的多个线段。第一线段可为直的,且/或第二线段可为直的。直线段可限定为翼弦平面中的直线,或同样地,该线段在叶片的吸力侧的顶视图中为直的。此外,直线段可限定为限定两个点之间沿风力涡轮机叶片的外表面的最短距离的路径。

[0042] 在附加方面或备选方面中,提供了一种用于装配或改造风力涡轮机叶片的方法,

风力涡轮机叶片在纵向方向上沿俯仰轴线延伸,且具有尖部端和根部端以及叶片长度,风力涡轮机叶片还包括成型轮廓,其包括压力侧和吸力侧,以及具有翼弦的前缘和后缘,翼弦具有在其间前缘和后缘之间延伸的弦长,提供了成型轮廓,其在由入射气流冲击时生成升力,该方法包括沿安装线安装多个涡流发生器,其具有最接近根部端的近侧端点和最接近尖部端的远侧端点。安装线从风力涡轮机叶片的后缘看可为凹线。该方法可包括安装涡流发生器来提供如本文所述的风力涡轮机。

[0043] 作为优选,安装线沿叶片长度的 10% 至 50% 延伸。

[0044] 作为优选,近侧端点位于离根部端 0-0.12L,或 0-0.10L,或 0-0.08L,或 0-0.6L 的叶片长度区间中。

[0045] 作为优选,近侧端点位于离前缘 2%-20% 或 3%-15% 或 5-15% 的相对翼弦位置中,例如,离前缘大约 10%。

[0046] 作为优选,远侧端点位于离根部端 0.2L 至 0.5L,或 0.25L 至 0.45L,或 0.3L 至 0.4L 的叶片长度区间中。

[0047] 作为优选,远侧端点位于离前缘 20%-80%,或 25%-70%,或 30-60% 的相对翼弦位置中,例如,离前缘大约 50%。

[0048] 作为优选,安装线的近侧端点的切线与俯仰轴线形成在从 0 度至 10 度或 0 度至 5 度的范围中的角。

[0049] 作为优选,安装线的远侧端点的切线与俯仰轴线形成在从 5 度至 45 度或 5 度至 35 度的范围内的角,如,8 度。

[0050] 作为优选,安装线包括至少第一中点,其将安装线分成直的第一线段和第二线段。

[0051] 作为优选,第一中点位于离根部端 0.05L 至 0.30L,或 0.08L 至 0.20L,或 0.10L 至 0.17L 的叶片长度区间中。

[0052] 作为优选,第一中点位于离前缘 2%-20%,或 3%-15%,或 5-15% 的相对翼弦位置中,例如,离前缘大约 10%。

[0053] 作为优选,第一线段与俯仰轴线形成在 0 度至 10 度范围内的第一角。

[0054] 作为优选,第二线段为直的,且与俯仰轴线形成在从 2 度至 60 度或 5 度至 45 度的范围中的第二角。

[0055] 作为优选,成型轮廓被分成:

具有最接近轮毂的基本圆形或椭圆形轮廓的根部区域,

具有最远离轮毂的升力生成轮廓的翼型区域,以及

根部区域与翼型区域之间的过渡区域,过渡区域具有在径向方向上从根部区域的圆形或椭圆形轮廓逐渐变化至翼型区域的升力生成轮廓的轮廓,

其中安装线基本沿叶片的整个过渡区域延伸。

[0056] 作为优选,成型轮廓包括肩部,其具有肩部宽度且位于过渡区域与翼型区域之间的边界处,其中肩部位于离根部端 0.15L 至 0.25L,或 0.18L 至 0.25L,或 0.19L 至 0.24L 的区间中。

[0057] 作为优选,远侧涡流发生器位于远侧端点处,远侧涡流发生器包括基部和一对导叶,导叶包括从基部突出的第一导叶和第二导叶,其中第一导叶与俯仰轴线形成在从 65 度至 80 度或从 70 度至 75 度的范围中的第一冲角。

[0058] 还提供了一种用于改造风力涡轮机叶片的方法，风力涡轮机叶片在纵向方向上沿俯仰轴线延伸且具有尖部端和根部端以及叶片长度，风力涡轮机叶片还包括成型轮廓，其包括压力侧和吸力侧，以及具有翼弦前缘和后缘，翼弦具有在其间延伸的弦长，成型轮廓在由入射气流冲击时生成升力，该方法包括沿安装线安装多个涡流发生器，安装线具有最接近根部端的近侧端点和最接近尖部端的远侧端点，其中安装线从风力涡轮机叶片的后缘看为凹线。

[0059] 根据本发明的风力涡轮机叶片提供了具有改善的空气动力特性的风力涡轮机叶片上的改善的流，从而使来自于具有相应的风力涡轮机叶片的风力涡轮机的更高能量产量成为可能。具体而言，提供了在叶片的过渡区域中和翼型区域的第一部分中具有改善的空气动力特性的风力涡轮机叶片。

[0060] 将被理解的是，任何描述的特征都可被组合以提供具有优于现有技术的改善的性能的风力涡轮机叶片。

附图说明

[0061] 本发明的实施例现在将仅通过示例参照附图来描述，在附图中：

图 1 示出了风力涡轮机；

图 2 示出了根据本发明的风力涡轮机叶片的示意性视图；

图 3 示出了图 2 的叶片的翼型轮廓的示意性视图；

图 4 示出了根据本发明的涡流发生器的装置的放大视图；

图 5 示出了来自于本发明的两个实施例的实验结果相比于现有技术的系统的升力系数相对于 (against) 冲角的图表 (plot)；

图 6 示出了来自于本发明的两个实施例的实验结果相比于现有技术的系统的阻力系数相对于冲角的图表；以及

图 7 示出了来自于本发明的两个实施例的实验结果相比于现有技术的系统的 (升力系数 / 阻力系数) 相对于冲角的图表，以及

图 8 示出了来自于本发明的两个实施例的实验结果相比于现有技术的系统的升力系数相对于阻力系数的图表。

具体实施方式

[0062] 图 1 示出了根据所谓的“丹麦概念”的常规现代逆风风力涡轮机，其具有塔架 4、机舱 6 和具有基本水平的转子轴的转子。转子包括轮毂 8 和从轮毂 8 径向地延伸的三个叶片 10，各个叶片均具有最接近轮毂的叶片根部 16 和最远离轮毂 8 的叶片尖部 14。转子具有表示为 R 的半径。

[0063] 图 2 示出了根据本发明的实施例的风力涡轮机叶片 10 的第一实施例的示意性视图。风力涡轮机叶片 10 具有常规风力涡轮机叶片的形状，且包括最接近轮毂的根部区域 30、最远离轮毂的成形区域或翼型区域 34，以及在根部区域 30 与翼型区域 34 之间的过渡区域 32。当叶片安装在轮毂上时，叶片 10 包括面向叶片 10 的旋转方向的前缘 18，以及面向前缘 18 的相反方向的后缘 20。

[0064] 翼型区域 34 (也称为成形区域) 具有关于生成升力的理想的或几乎理想的叶片形

状,而根部区域 30 由于结构考虑具有基本圆形或椭圆形的截面,其例如使得更容易且更安全地将叶片 10 安装至轮毂。根部区域 30 的直径(或翼弦)沿整个根部区 30 典型地为恒定的。过渡区域 32 具有从根部区域 30 的圆形或椭圆形形状 40 逐渐地变化至翼型区域 34 的翼型轮廓 50 的过渡轮廓 42。过渡区域 32 的弦长典型地随离轮毂的距离 r 增大而基本线性地增大。

[0065] 翼型区域 34 具有带有翼弦的翼型轮廓 50,翼弦在叶片 10 的前缘 18 与后缘 20 之间延伸。翼弦的宽度随离轮毂的距离 r 增大而减小。

[0066] 应当注意的是,叶片的不同区段的翼弦一般不位于共同的平面中,因为叶片可扭转和/或弯曲(即,预先弯曲),从而向翼弦平面提供有对应的扭转和/或弯曲路线(course),这是最常见的情况,以便补偿取决于离轮毂的半径的叶片的局部速度。

[0067] 图 3 示出了以各种参数描绘的风力涡轮机的典型叶片的翼型轮廓 50 的示意性视图,其典型地用于限定翼型的几何形状。翼型轮廓 50 具有压力侧 52 和吸力侧 54,其在使用期间(即,在转子的旋转期间)一般分别面朝迎风(或逆风)侧和背风(或顺风)侧。翼型 50 具有翼弦 60,翼弦 60 具有在叶片的前缘 56 与后缘 58 之间延伸的弦长 c 。翼型 50 具有厚度 t ,其限定为压力侧 52 与吸力侧 54 之间的距离。翼型的厚度 t 沿翼弦 60 变化。离对称轮廓的偏差由弧线 62 给出,弧线 62 为穿过翼型轮廓 50 的中线。中线能通过从前缘 56 向后缘 58 画内切圆来找到。中线沿着这些内切圆的中心,且离翼弦 60 的偏差或距离称为弧高 f 。该不对称还能通过使用称为上弧高和下弧高的参数来限定,其分别限定为从翼弦 60 到吸力侧 54 和压力侧 52 的距离。

[0068] 翼型轮廓通常由以下参数表征:弦长 c 、最大弧高 f 、最大弧高 f 的位置 d_f 、最大翼型厚度 t ,其为沿中弧线 62 的内切圆的最大直径,最大厚度 t 的位置 d_t ,以及翼尖半径(nose radius)(未示出)。这些参数典型地限定为与弦长 c 的比率。

[0069] 作为优选,风力涡轮机叶片在所述根部端与尖部端之间大于 30 米,优选为大于 40 米。

[0070] 一排涡流发生器 100 朝向前缘 56 设在翼型 50 的吸力侧 54 上。涡流发生器 100 用于在翼型 50 上引起入射气流中的湍流的涡流,这防止了流分离。

[0071] 参看图 4,涡流发生器(或 VGs)100 提供为用于在翼型(例如,风力涡轮机叶片)上使用的成对的三角形 VG 导叶 100。成对的 VGs 布置在翼型的吸力侧上,在纵向方向上沿翼型的至少一部分延伸,即,沿半径 R 的方向。各对 VGs 均包括设在彼此附近的第一涡流发生器 102 和第二涡流发生器 104。独立的 VG102、104 具有朝翼型的前缘 56 布置的第一端 102a、104a,以及朝翼型的后缘 58 布置的第二端 102b、104b。

[0072] VGs102、104 具有直角三角形轮廓,所述三角形轮廓的第一直角边形成附接到翼型的表面上的 VG 的基部 105,而所述三角形轮廓的第二直角边在 VG 的所述第二端 102b、104b 处从基部伸出,具有高度 h 。所述轮廓的斜边从基部处的 VG 的第一端 102a、104a 延伸至 VG 的第二端 102b、104b 的远侧点。然而,将被理解的是,可使用其它 VG 构造,且本发明不限于直角三角形轮廓。

[0073] 各个对 100 的 VGs 102、104 从翼型上的入射流(由箭头 A 指出)的方向偏斜从各自的第一端朝第二端测得的角 β ,使得相邻的 VGs 的第一端形成 VG 对的较窄的相对会聚的端,且相邻的 VGs 的第二端形成 VG 对的较宽的扩散端。

[0074] 通过 VGs 的特征尺寸的变化,实现了在空气动力性能上的令人惊讶的改善。具体而言,关于下述尺寸:

VG 对中的 VGs 的第二端 102b、104b 之间的导叶间距离 s ;

三角形 VG 导叶 100 的基部的长度 l ;

提供在 VGs 的第二端 102b、104b 处的 VG 导叶的尖部端的高度 h ;

在相邻 VG 对的 VGs 之间延伸的标称中心线之间测得的对间 (inter-pair) 距离 z ; 以及偏移角 β , 其测得为 VG 导叶在涡流发生器处关于流入的方向以该角延伸的角。

[0075] 相比于 Godard 的论文中描述的现有技术,当具有 4-15 之间的 $1/h$ 的比率时,通过将 s/h 的比率增大至 4-15 之间,将 z/h 的比率增大至 7-20 之间,且将 β 减小到 6 度至 16 度之间,发现了在空气动力性能上的令人惊讶的改善,导致了翼型上的涡流发生器对的改善的构造。

[0076] 尽管对涡流发生器装置的上述调整的独立的任何一个将导致阻力上的增大和在空气动力性能上的负面影响,但这些特征调整的组合呈现了优于现有技术的改善,这并未在现有技术中被考虑或被提出。

[0077] 相比于根据公认的现有技术构造 (从 Godard 等人获得) 的两个现有技术的构造,下表示出了从根据提出的装置的两个实施例获得的性能上的改善。示出了初始条件 (starting condition) 的结果,其中 $1/h=2$,带有表示 "LM Wind Power" (LM 风力公司) 的提出的装置的结果。在表中,给出了极线 (polar) 的最大值和其它有效值。

最佳 VG 参数构造	β [°]	z/h [-]	s/h [-]	$C_{L,max}$ [-]	AOA_{stall} [°]	$(C_L/C_D)_{max}$ [-]	AOA_{des} [°]	$C_{L,Design}$ [-]	$C_{D,Design}$ [-]
LM Wind	9	10	7	1.81	13.9	117.6	6.1	1.12	0.0095
Power	12	10	7	1.81	13.4	118.1	7.1	1.24	0.0105
Godard	18	5	2	1.66	12.4	86.1	7.1	1.22	0.0142
	18	7.5	3	1.71	12.7	94.9	7.1	1.23	0.0130

[0078] 表 1: 实验结果

能看到的是,具有相对较大的 β 、 z/h 和 s/h 的比率的涡流发生器对的提出的装置导致优于 Godard 系统的 $C_{L,max}$ (对于翼型的最大升力系数) 的增大。此外, (C_L/C_D) 的比率相对于 Godard 增大,且翼型将仅在较高冲角 (AOA) 下进入失速。

[0079] 参看图 5 至图 8,提供了一系列说明性图表,示出了涉及相比于 Godard 的论文中提出的现有技术上的表中描述的本发明的实施例的实验结果。独立的图表表示为 VG_A_S_Z, 其中 A 为使用的角 β , S 为 s/h 的比率,且 Z 为 z/h 的比率。因此,参照以上的表 1,表示为 VG_A12_S7.0_Z10 和 VG_A9_S7_Z10 的图表表现出根据本发明的涡流发生器构造,且图表 VG_A18_S2.0_Z5 和 VG_A18_S3.0_Z7.5 表现出现有技术的涡流发生器构造。

[0080] 涡流发生器构造在最大升力系数 $C_{L,max}$ 上和和在最大滑动比率 (glide ratio) $(C_L/C_D)_{max}$ 上的影响的实验研究已经在 LM Wind Power (LM 风力公司) 的风洞中在 DU 91-W2-250 轮廓上执行,其为在 Delft University of Technology (代尔夫特理工大学) 开发的风力涡轮机专用翼型 [W. A. Timmer & R. P. J. O. M. van Rooij; Summary of Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils; ASME Journal of Solar Energy 125 (2003) 488 - 496] (由 W. A. Timmer 和 R. P. J. O. M. van Rooij 所著的《代尔夫特

大学风力涡轮机专用翼型的概述》;收录于 ASME 太阳能期刊 2003 年第 125 卷的第 488-496 页)。对于呈现的结果的雷诺数为 3 百万。

[0081] 通过实验结果的比较,图 5 至图 8 中也通过表示为 'Clean' 的图表示出了没有任何涡流发生器的所使用的翼型的性能。

[0082] 在图 5 中,示出了升力系数 C_l 相对于冲角 AOA 的图表。这里,能看到的是,相比于本发明的实施例,现有技术的系统(在通过 X 和通过三角形表示的图表中指出)经历了在更早的 AOA 处由翼型提供的 C_l 的减小,即,本发明的系统将令人惊讶地在比现有技术的系统在更晚的冲角处进入失速。

[0083] 在图 6 中,示出了阻力系数 C_d 相对于冲角 AOA 的图表。这里,能看到的是,相比于本发明的实施例,现有技术的系统(在通过 X 和通过三角形表示的图表中指出)经历了穿过所有 AOA 的更大的总的 C_d ,且因此提出的本发明提供了在翼型的阻力性能上的改善。

[0084] 在图 7 中,示出了 (C_l/C_d) 相对于冲角 AOA 的图表,而在图 8 中, C_l 被绘制为相对于用于测试的系统的 C_d 。应当清楚的是,本发明的系统的实施例提供了优于现有技术的系统的在升力与阻力比上的显著且令人惊讶的改善,导致了总的翼型性能上的改善。

[0085] 此外,测试已经向发明人指出了在上表和附图中指出的性能优点延伸穿过特征值的提出的范围。

[0086] 将理解的是,VGs 可具有任何适合的结构和截面。VGs 为基本平的,或 VGs 的至少一部分可为锥形的,例如,锥形的第二端 102b、104b,或锥形的尖部端。

[0087] 此系统在安装于风力涡轮机叶片上时提供了改善的性能,导致了对于优于现有技术的系统的此类风力涡轮机叶片的更大的能量产量。初始计算已经示出具有此类涡流发生器装置的叶片将在叶片的寿命内经历大约 0.3% 至 1% 之间的 AEP(年度能量产量)上的增大。

[0088] 该装置包括至少 2 个 VG 对。VG 对的装置可沿直线、曲线和 / 或多部分 (multi-part) 线在叶片的纵向方向上提供。VG 对可基本等距地布置。

[0089] 将理解的是,独立的 VG 对可提供成具有分离的基部或共同的基部。此外,VG 对的独立的导叶还可提供成具有用于 VG 对的分离的基部或共同的基部。此外,将理解的是,本发明还覆盖 VG 装置,其中第一 VG 对的第一导叶和相邻的第二 VG 对的第二导叶可设在共同的基部上,其中本发明的 VG 对由相邻 VG 元件或模块的相邻导叶限定。

[0090] 本文描述的实施例呈现了用于在翼型(优选为风力涡轮机叶片)上使用的一排涡流发生器对。以不同于现有技术所考虑的方式的涡流发生器的装置呈现了优于现有技术的系统的空气动力性能上的令人惊讶的改善。

[0091] 本发明不限于本文所述的实施例,且可在不脱离本发明的范围的情况下改变或改动。

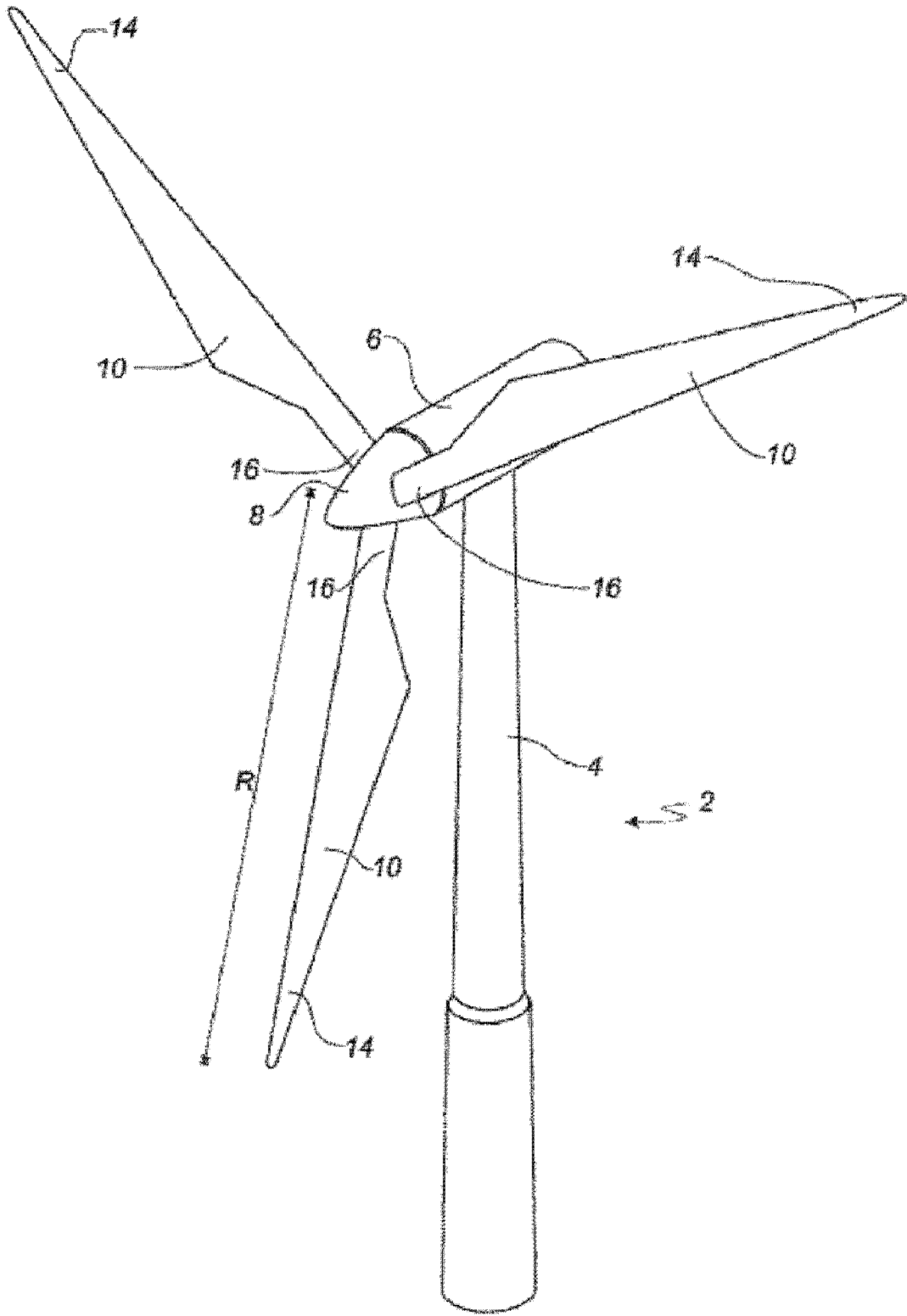


图 1

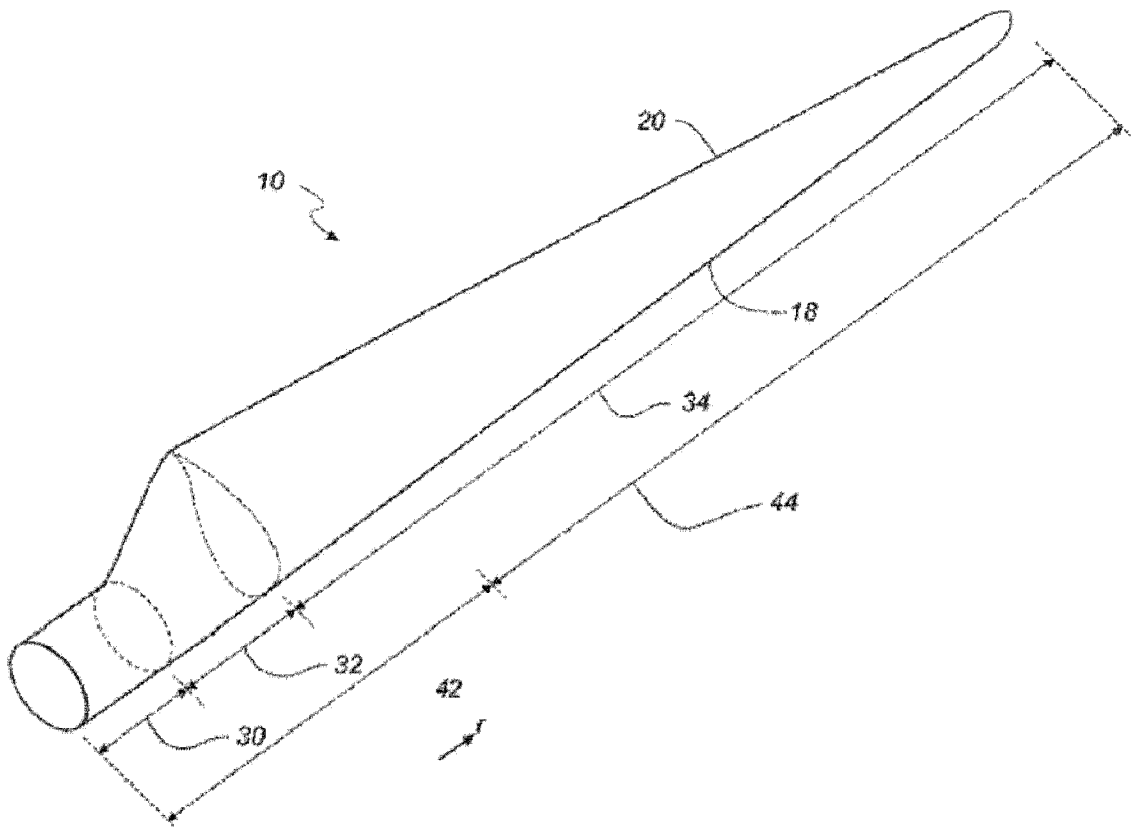


图 2

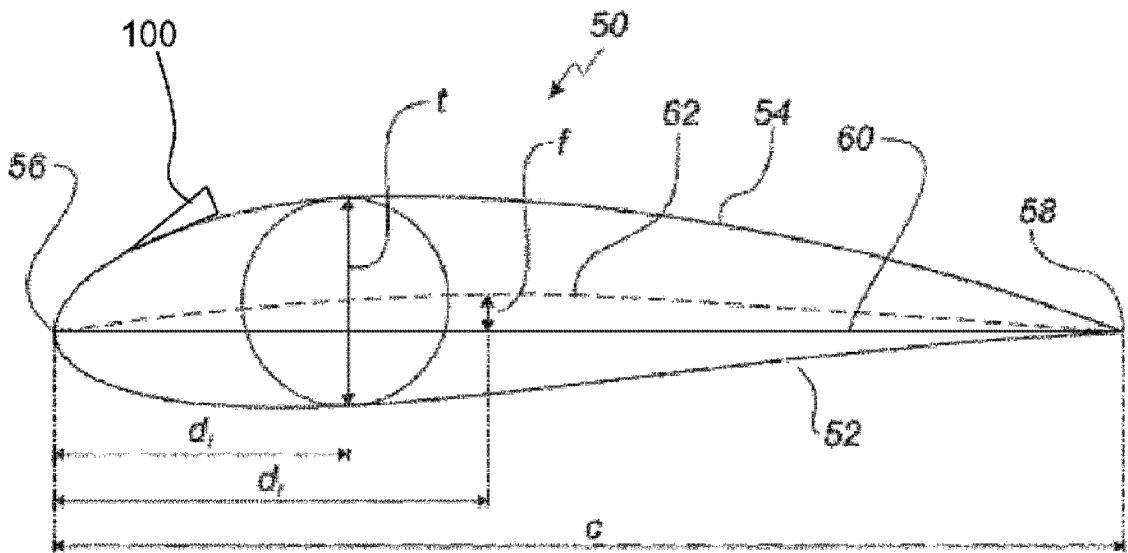


图 3

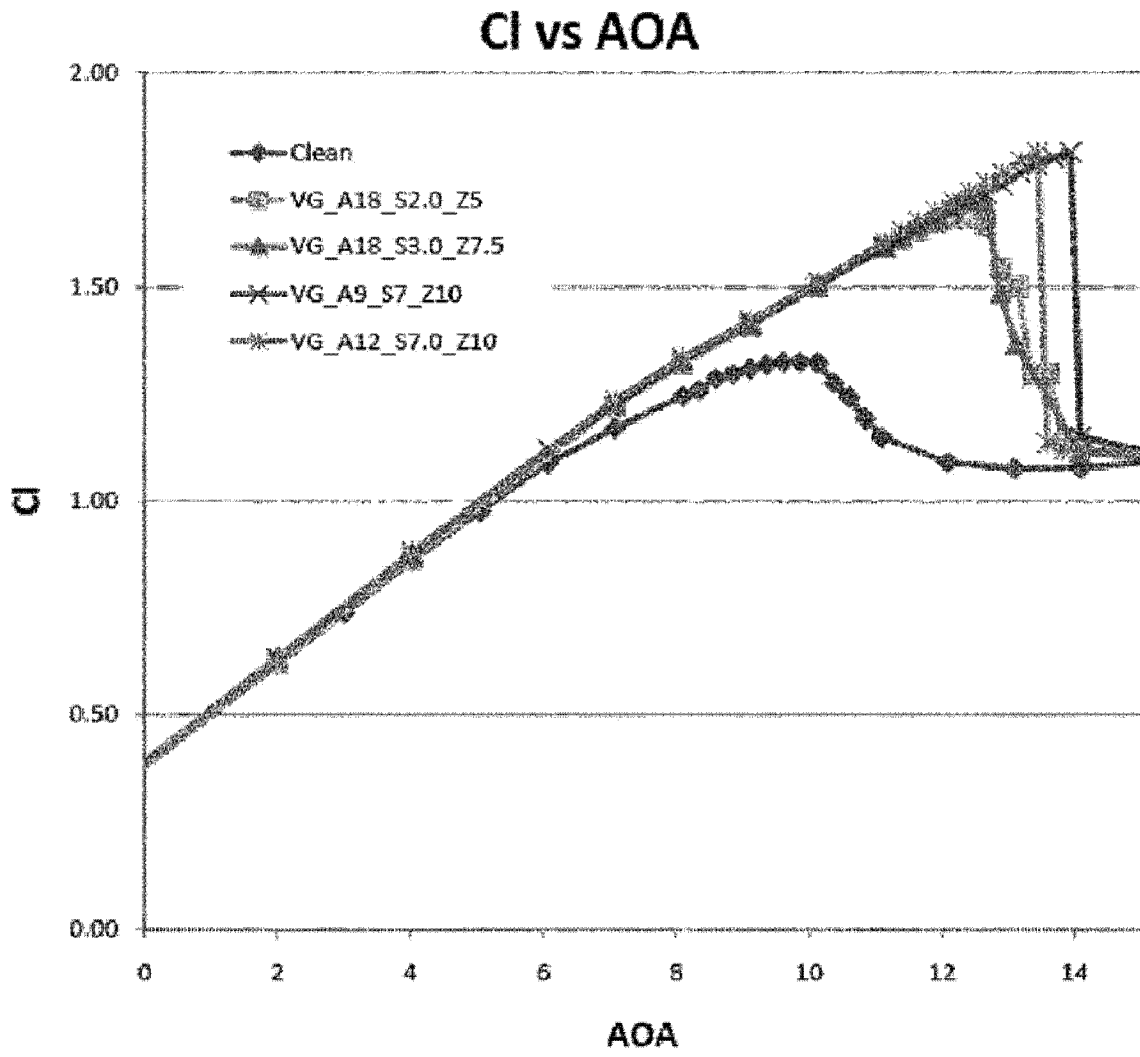


图 5

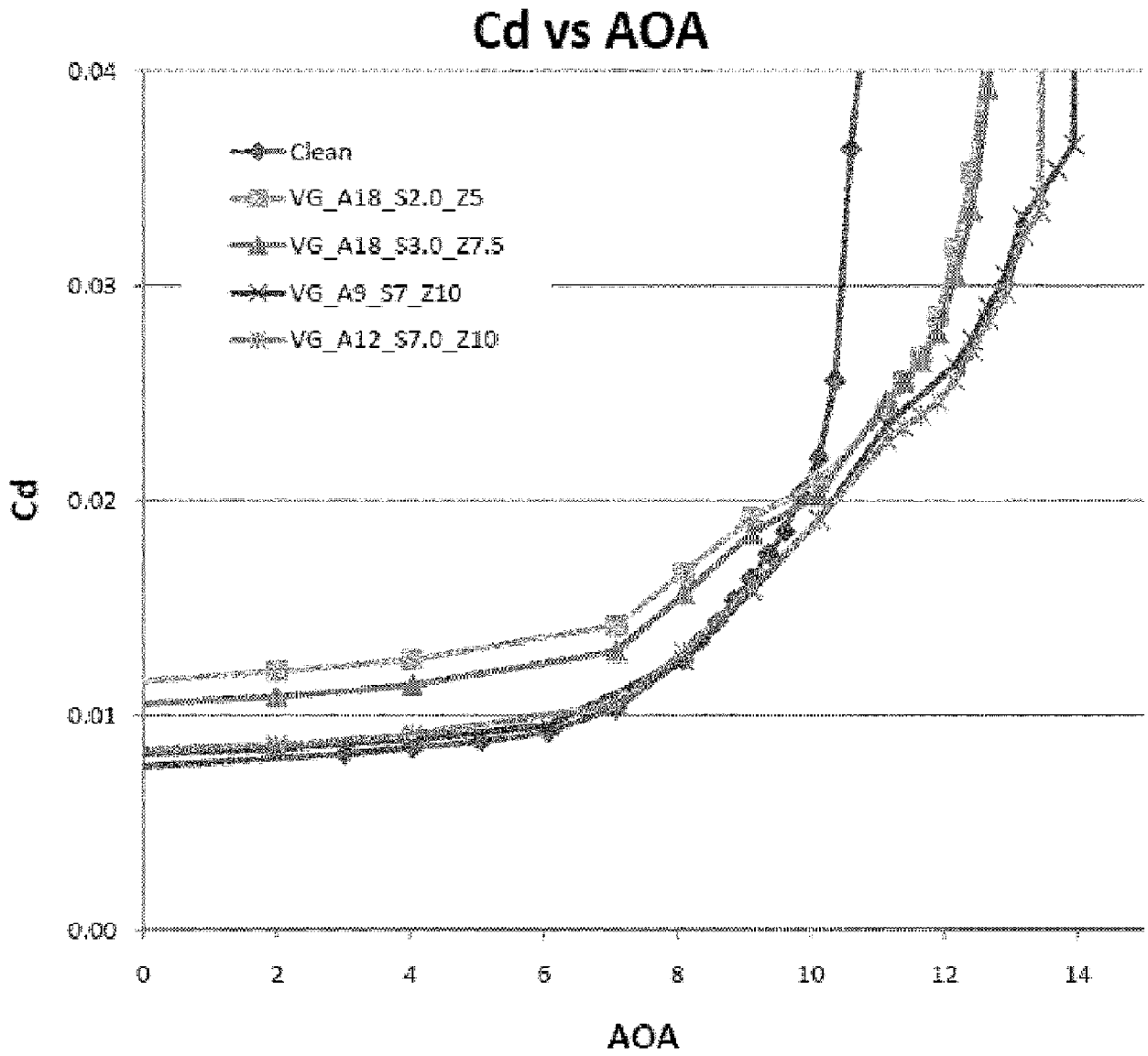


图 6

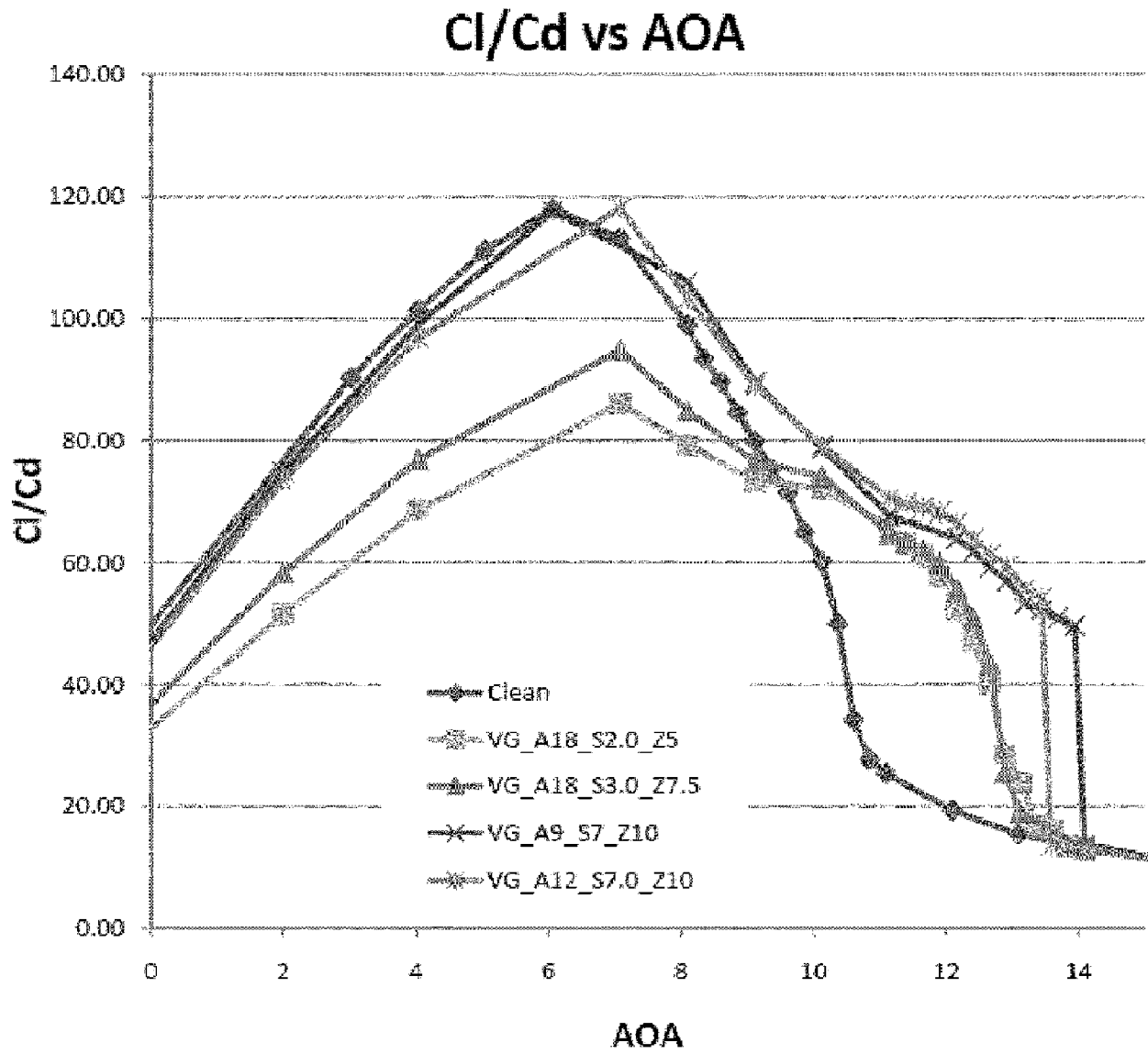


图 7

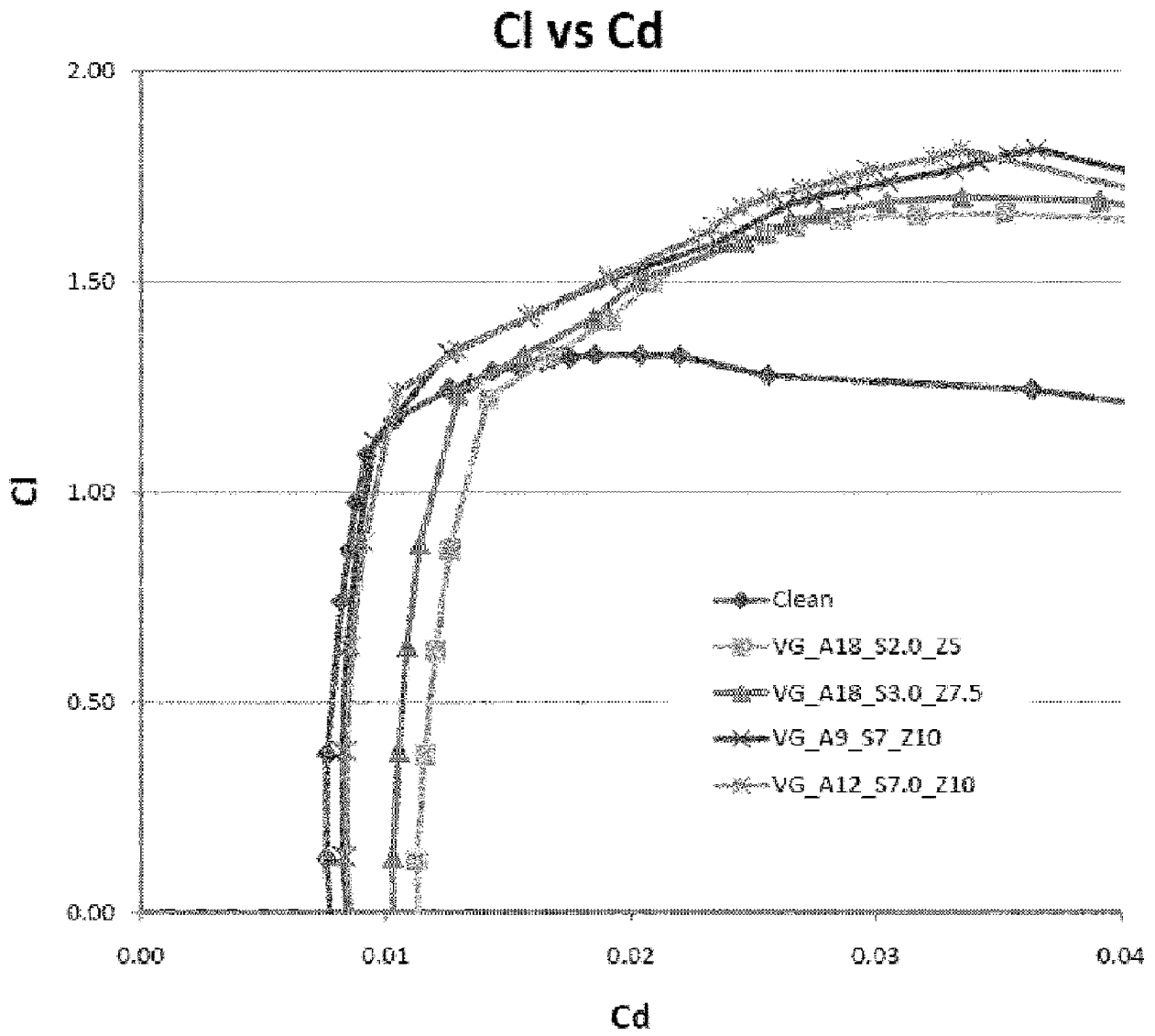


图 8