

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102245894 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 16

(21) 申请号 200980149666. 0

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2009. 10. 26

代理人 崔幼平

(30) 优先权数据

08171533. 6 2008. 12. 12 EP

(51) Int. Cl.

F03D 1/06(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 06. 10

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/064084 2009. 10. 26

(87) PCT申请的公布数据

W02010/066500 EN 2010. 06. 17

(71) 申请人 LM 玻璃纤维制品有限公司

地址 丹麦科灵

(72) 发明人 K. 伦茨 P. 富格尔桑格

S. 皮拉加拉塔尔沃

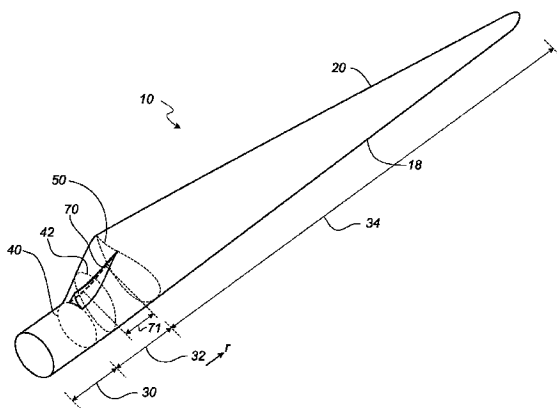
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 10 页

(54) 发明名称

具有优化高度的流动引导装置的风力涡轮机叶片

(57) 摘要

本发明公开了一种风力涡轮机叶片(10), 其具有在叶片的压力侧(52) 被附连到成形轮廓(40、42、50)的流动引导装置(70)。所述流动引导装置沿叶片的过渡区域(32) 的至少纵向部分延伸并且被设置成当叶片被入射气流冲击时在所述流动引导装置和所述叶片的后缘(20) 之间的点处产生沿所述流动引导装置的至少中心纵向部分(71) 从所述叶片的所述压力侧的气流分离。从叶片的前缘观察, 流动引导装置被设置在位于 40% 至 92% 之间的区间内的相对弦位置。针对每个横向截面, 流动引导装置到成形轮廓的高度是成形轮廓的最大厚度的至少 10%。



1. 一种用于风力涡轮机(2)的转子的叶片(10),该转子具有基本水平的转子轴,所述转子包括毂(8),当被安装于所述毂(8)时所述叶片(10)从所述毂(8)基本沿径向方向延伸,所述叶片具有带尖端(14)和根部端(16)的纵向方向(r)以及横向方向,所述叶片还包括:

成形轮廓(40、42、50),其包括压力侧和吸力侧以及前缘(18)和后缘(20),具有其弦长在所述前缘和所述后缘之间延伸的弦,当被入射气流冲击时所述成形轮廓产生升力,其中所述成形轮廓被划分为:

最靠近所述毂、具有基本圆形或椭圆形外形的根部区域(30),

最远离所述毂、具有升力生成外形的翼型区域(34),以及

在所述根部区域(30)和所述翼型区域(34)之间的过渡区域(32),所述过渡区域(32)具有沿所述径向方向从所述根部区域的所述圆形或椭圆形外形逐渐变化到所述翼型区域的所述升力生成外形的外形,并且其中

所述叶片在所述叶片(10)的所述压力侧(52)设有被附加到所述叶片的所述成形轮廓(40、42、50)的流动引导装置(70),所述流动引导装置(70)具有入流表面(72),该入流表面(72)具有附连到所述成形轮廓(40、42、50)的起点(74)以及位于距所述叶片的所述成形轮廓(40、42、50)一定距离的终点(76),所述终点(76)具有到所述叶片的所述成形轮廓(40、42、50)的最小距离(d_{ep}),其特征在于

所述流动引导装置(70)沿所述过渡区域(32)的至少纵向部分延伸并且被设置成当所述叶片(10)被所述入射气流冲击时在所述流动引导装置(70)和所述叶片(10)的后缘(20)之间的点处产生沿所述流动引导装置(70)的至少中心纵向部分(71)从所述叶片(10)的压力侧(52)的气流分离,其中

在至少所述中心纵向部分内的所述流动引导装置(70)被设置成使得所述终点(76)具有从所述叶片的所述前缘观察时位于40%至92%的区间内的相对弦位置,并且

在至少所述中心纵向部分(71)内的所述入流表面(72)被成形为针对每个横向截面,从所述终点(76)到所述成形轮廓的所述最小距离(d_{ep})是所述成形轮廓的最大厚度的至少10%。

2. 根据权利要求1所述的叶片,其中在至少所述中心纵向部分(71)内的所述入流表面(72)被成形为使得针对每个横向截面,在所述终点(76)处与所述入流表面(72)相切的终点切线(80)在交叉点(82)处与所述成形轮廓(40、42、50)相交,在该交叉点处所述成形轮廓(40、42、50)具有与所述成形轮廓(40、42、50)相切的外形切线(78),并且其中在所述外形切线(78)和所述终点切线(80)之间的角度(α)是至少45度。

3. 根据权利要求2所述的叶片,其中在所述外形切线(78)和所述终点切线(80)之间的角度是至少50度,或至少55度,或至少60度。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中所述入流表面(72)的中线与所述弦(44)形成第二角度(θ),所述第二角度是至少25度,或至少30度,或至少35度。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中从所述叶片的所述前缘观察,所述终点的相对弦位置位于75%至92%之间的区间内,并且其中对于所述中心纵向部分的设计点而言攻角位于15至25度之间的区间内,或在15至20度之间的区间内。

6. 根据权利要求1-4中任一项所述的叶片,其中从所述叶片的所述前缘观察,所述终

点的相对弦位置位于 40% 至 80% 之间的区间内,或者位于 40% 至 70% 之间的区间内,或者位于 40% 至 60% 之间的区间内。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中所述流动引导装置(70)基本沿所述过渡区域(32)的整个纵向长度延伸。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中所述中心纵向部分(71)是所述流动引导装置(70)的纵向尺度的至少 50%、60%、70%、80% 或 90%。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中所述流动引导装置(70)延伸到所述根部区域(30)内。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中从所述叶片的所述前缘观察,所述终点的相对弦位置沿所述叶片的纵向方向减小。

11. 根据权利要求 10 所述的叶片,其中从所述叶片的所述前缘观察,在所述流动引导装置的内侧部分处所述终点的相对弦位置位于 75% 至 92% 之间的区间内,并且在所述流动引导装置的外侧部分处所述终点的相对弦位置位于 40% 至 60% 之间的区间内。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中在所述流动引导装置(70)的至少所述中心纵向部分(71)内,从所述终点(76)到所述成形轮廓的最小距离(d_{ep})沿纵向方向朝向所述尖端(14)减小。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中所述流动引导装置(70)被形成为从所述叶片的所述成形轮廓突出的肋,例如基本正交于所述叶片的所述成形轮廓的肋。

14. 根据前述权利要求中任一项所述的叶片,其中所述流动引导装置(70)与所述叶片(10)一体成形,可替代地,所述流动引导装置(70)被装配到所述叶片(10)的表面上。

15. 一种包括多个、优选地两个或三个如前述权利要求中任一项所述的叶片的风力涡轮机。

具有优化高度的流动引导装置的风力涡轮机叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及用于风力涡轮机转子的叶片,该转子具有基本水平的转子轴,所述转子包括毂,当被安装于该毂时叶片基本沿径向方向从该毂延伸,所述叶片具有纵向方向和横向方向且纵向方向上带有尖端和根部端,其中所述叶片还包括:成形轮廓,该成形轮廓包括压力侧和吸力侧以及前缘和后缘,具有在前缘和后缘之间延伸的弦长的弦,当被入射气流冲击时成形轮廓产生升力,其中成形轮廓被划分为:最接近毂的具有基本圆形或椭圆形外形的根部区域、具有最远离毂的具有升力生成外形的翼型区域以及在根部区域和翼型区域之间的过渡区域,所述过渡区域具有沿径向方向逐渐从根部区域的圆形或椭圆形外形变化到翼型区域的升力生成外形的外形。

背景技术

[0002] 理论上,翼型类型的风力涡轮机叶片被成形为类似于典型飞机机翼,其中叶片的弦平面宽度及其一阶导数随着距毂距离的减小而连续增加。这导致了,在毂的附近,理论上叶片相当宽。这又导致了当必须将叶片安装于毂时的问题,并且此外,由于叶片具有大的表面积,从而这导致了在叶片工作期间具有较大载荷,例如暴风载荷。

[0003] 因此,多年间,叶片的构造朝向形状方面发展,其中叶片由最靠近毂的根部区域、最远离毂的包括升力生成外形的翼型区域以及在根部区域和翼型区域之间的过渡区域构成。关于生成升力,翼型区域具有理论或几乎理论的叶片形状,而根部区域具有基本圆形截面,这减小了暴风载荷并且使得更容易且安全地将叶片安装到毂。根部区域直径优选地沿整个根部区域是恒定的。由于圆形截面的原因,根部区域不对风力涡轮机的能量生产作出贡献,并且实际上由于阻力而使其少量减少。如名称所示,过渡区域具有从根部区域的圆形形状向翼型区域的翼型外形逐渐变化的形状。通常,在过渡区域中叶片的宽度随着距毂的距离增大而基本线性增大。

[0004] 因为,例如,随着时间的推移,风力涡轮机的叶片变得越来越大并且现在可能已经超过 60 米长,因此对于优化空气动力学性能的需求逐渐增加。风力涡轮机叶片被设计成具有至少 20 年的工作寿命。因此,即使对于叶片总体性能的小的改变也会随风力叶片的工作寿命而累积成经济收益的大幅增加,其超过与这种改变相关的额外制造成本。许多年间研究的关注领域针对改进叶片的翼型区域,不过在近几年,也越来越多地关注改进叶片的根部区域和过渡区域的空气动力学性能。

[0005] W02007/065434 公开了一种叶片,其中根部区域具有凹口和 / 或突起以便减少来自叶片这个部分的阻力。

[0006] W02007/045244 公开了一种叶片,其中根部区域和过渡区域被设计成具有至少两个单独的翼型外形以便增加这些区域的升力。

[0007] W02007/118581 公开了一种叶片,其中叶片的内侧部分在叶片的压力侧上具有流动引导装置以便延迟气流的分离并且增加叶片的空气动力学性能。

[0008] W002/08600 公开了一种叶片,其包括用于连接风力涡轮机的毂的连接部分,其中

所述连接部分具有从连接部分突出的肋,从而增加了风力涡轮机的整体效率。

发明内容

[0009] 本发明的目标是获得一种新型叶片,并且其克服或改善了现有技术的至少一个缺点或者其提供了有用的替代品。

[0010] 根据本发明的第一方面,叶片具有在叶片的压力侧被附加于叶片的成形轮廓的流动引导装置,所述流动引导装置具有入流表面,该入流表面具有附连到成形轮廓的起点以及位于距叶片的成形轮廓一段距离处的终点,该终点具有到叶片的成形轮廓的最小距离,其中所述流动引导装置沿过渡区域的至少纵向部分延伸并且被设置成当叶片被入射气流冲击时在流动引导装置和叶片的后缘之间的点处产生沿流动引导装置的至少中心纵向部分从叶片的压力侧的气流分离,其中在至少所述中心纵向部分内的流动引导装置被设置成使得终点具有从叶片的前缘观察的位于 40% 至 92% 的区间内的相对弦位置,并且处于至少所述中心纵向部分内的入流表面被成形为针对每个横向截面,从终点到成形轮廓的最小距离是在该截面内成形轮廓的最大厚度的至少 10%。

[0011] 因此,可以看出,针对流动引导装置的中心纵向部分内的所有横向截面,流动引导装置的相对高度是局部最大外形厚度的至少 10%,这显著大于常规流动引导装置。流动引导装置被安装到叶片的内侧部分,即最靠近毂的部分,并且具体地安装到叶片的过渡区域。从叶片的这个部分产生的动力是非常贫乏的,不过在管理这个部段的入流角度方面,根据本发明附连流动引导装置显著增加了叶片的这个部段上的寿命。流动引导装置用于阻碍在外形的压力侧上的流动。这种阻碍导致了由于流动的脱离而在流动引导装置之后(即在流动引导装置和风力涡轮机叶片的后缘之间)具有更大压力。在流动引导装置之后,即在流动引导装置和风力涡轮机叶片的后缘之间,气流产生分离。因此,流动引导装置高度的增加也显著增加了具体叶片节段的阻力。不过,实验惊人地证明,与相对高度基本小于 10% 的常规流动引导装置相比,根据本发明的流动引导装置尽管增加了阻力不过仍将整体升力 - 阻力比提高了高达 10% 或更多。与没有这种流动引导装置的常规风力涡轮机叶片相比,对潜在性能提高的实际估算是年度能量产量的 1-1.5%。当考虑风力涡轮机转子的使用寿命时,相比于与制造具有这种流动引导装置的叶片有关的额外制造成本,这提供了显著的经济效益。

[0012] 最小距离被定义为沿成形轮廓的法线从入流表面的终点到成形轮廓的距离。因此,最小距离对应于中心在入流表面的终点处且仅触及叶片的成形轮廓的单个点的圆的半径。

[0013] 相对弦位置对应由成形轮廓的具体截面的弦长所划分的(沿弦)距前缘的距离。因此,相对弦位置与流动引导装置投影到该弦上的点相关。

[0014] 根据有利实施例,从终点到成形轮廓的最小距离是成形轮廓的最大厚度的至少 11%、12%、13%、14%、15%、16%、17%、18%、19%、20%、21%、22%、23%、24% 或 25%。在此方面,已经惊人地发现,根据这些高度增加流动引导装置的相对高度,则进一步增加了叶片的能量产量。

[0015] 由于制造考量的因素,从终点到成形轮廓的最小距离有利地小于或等于成形轮廓的最大厚度的 50%、45%、40%、35% 或 30%。

[0016] 根据优选实施例,在流动引导装置的至少中心纵向部分内的入流表面被成形为使得针对每个横向截面,在终点与入流表面相切的终点切线在交叉点处与成形轮廓交叉,在

该交叉点处成形轮廓具有与成形轮廓相切的外形切线,并且其中在外形切线和终点切线之间的角度(α)是至少 45 度。不过,明显的是,气流的“释放角度”的增加使得具体叶片节段的阻力也显著增加。不过,实验已惊人地证明根据该实施例的流动引导装置虽然使得阻力增加,不过与所述角度基本小于 45 度的常规流动引导装置相比,在流动引导装置的纵向尺度内仍将整体升力-阻力比提高了至少 5%。因此,升力-阻力比的增加甚至进一步提高了风力涡轮机转子的整体性能,并且仅升力的增加减少了局部入流角度,从而稍稍限制了在吸力侧被分离的流动区域的尺寸。应该注意到,终点切线和外形切线形成了多于一个角度。从下述详细描述中,明显的是,提到的角度是在终点切线的外部 and 外形切线朝向叶片的后缘延伸的部分之间的角度。换言之,提到的角度位于最靠近叶片的后缘的在叶片外形外侧的象限(四分之一圆)。两条切线形成了锐角和钝角(除非它们相互垂直)。因此,明显的是这是至少 45 度的锐角。

[0017] 根据有利实施例,外形切线和终点切线之间的角度是至少 50 度,或者至少 55 度,或者至少 60 度。角度可以高达 90 度。优选地,角度位于 60 至 90 度的区间内,惊人地发现这种角度提供了最佳的效率,即使具有高度分离和增加的阻力也是如此。已经发现,升力-阻力比在所述区间内基本恒定。

[0018] 根据又一有利实施例,入流表面的中线与弦形成第二角度,该第二角度是至少 25 度,或至少 30 度,或至少 35 度。第二角度可以是对于终点切线和外形切线之间的角度的补充设计参数,或者其可以是替代性设计参数。根据有利实施例,入流表面沿与弦形成一角度度的线基本对齐,该角度是至少 25 度,或至少 30 度,或至少 35 度。因此,如果入流表面是直的,则终点切线与弦形成的角度也可以是至少 25 度,或至少 30 度,或至少 35 度。中线对应入流表面的线性拟合线或者入流表面的平均切线。因此,可以看出,入流表面平均上与弦形成至少 25 度的第二角度。而且,应该注意,第二角度指代的是在中线和弦之间形成的锐角。

[0019] 根据另一有利实施例,从叶片前缘观察,终点的相对弦位置位于 75% 至 92% 之间的区间内,并且其中对于中心纵向部分的设计点而言攻角位于 15 至 25 度之间的区间内,或者在 15 至 20 度之间的区间内。当流动引导装置的终点位于向后位置(即叶片后缘附近的位置)时,已经发现随着攻角增加到近似 25 度的攻角,升力系数增加,而在该区间内的升力-阻力比基本恒定。

[0020] 根据又一实施例,从叶片的前缘观察,终点的相对弦位置位于 40% 至 80% 之间的区间内,或在 40% 至 70% 之间的区间内,或在 40% 至 60% 之间的区间内。当流动引导装置的终点位于向前位置(即朝向最大厚度的截面点和叶片的后缘的位置)时,已经令人惊讶地发现升力系数和升力-阻力比基本独立于进入气流的攻角。因此,入流角度的工作范围可以被扩展并且同时保持来自叶片的增加的工作生产产量。此外,叶片对于风速的波动更不敏感,因此减小了叶片上的载荷。

[0021] 根据又一有利实施例,流动引导装置基本沿过渡区域的整个纵向长度延伸。因而,对于基本整个空气动力学上非理论的过渡区域而言,提高了升力和升力-阻力比。

[0022] 在根据本发明的优选实施例中,中心纵向部分是流动引导装置的纵向尺度的至少 50%、60%、70%、80% 或 90%。

[0023] 实验已经惊人地证明,针对小攻角,流动引导装置或阻流板可以有利地朝向截面外形的最大厚度的点运动,而针对大攻角,流动引导装置可以有利地朝向叶片的后缘运动。

不过,在转子叶片上,随着叶片半径的增加,由于局部旋转速度的增加,流动角度将减小。因此,当沿外侧方向观察,即朝向叶片的翼型区域观察时,在根部区域附近,流动引导装置应该朝向叶片的后缘运动,并且之后其应该逼近前缘。因此,根据本发明的有利实施例,从叶片的前缘观察,终点的相对弦位置沿叶片的纵向方向减小。根据有利实施例,从叶片的前缘观察,在流动引导装置的内侧部分处终点的相对弦位置位于 75% 至 92% 之间的区间内,并且在流动引导装置的外侧部分处终点的相对弦位置位于 40% 至 60% 之间的区间内。内侧部分被限定为流动引导装置最靠近叶片的根部端或者等价地最靠近毂的部分。外侧部分被限定为流动引导装置最靠近叶片的尖端或者等价地最远离毂的部分。

[0024] 根据叶片的一种具体简单实施例,流动引导装置被形成为从叶片的成形轮廓突出的肋,例如基本正交于叶片的成形轮廓的肋。因此,流动引导装置可以例如被形成为被安装在叶片的表面上的角杆。

[0025] 可替代地,流动引导装置可以基本是楔形的。入流表面可以基本是直的。根据另一实施例,入流表面是凹的。

[0026] 根据一种实施例,在起点处入流表面的起点切线基本平行于起点处外形的切线。因而,外形具有向流动引导装置的入流表面的平滑表面过渡。

[0027] 根据一种有利实施例,流动引导装置具有一宽度,其中宽度和弦长之间的比沿纵向方向朝向尖端减小。这能够例如通过使得宽度沿叶片的纵向方向基本恒定来实现,因为弦长在过渡区域内增加。不过,宽度也可以沿叶片的纵向方向减小。

[0028] 在根据本发明的一种实施例中,从叶片的前缘观察,在至少中心纵向部分内的起点被设置在弦长的 55% 至 88% 之间的区域内,或者在 57% 至 87% 之间的区域内,或者在 60% 至 85% 之间的区域内。在根据本发明的另一实施例中,从叶片的前缘观察,在至少中心纵向部分内的终点被设置在弦长的 70% 至 90% 之间的区域内,或者在 75% 至 88% 之间的区域内,或者在 80% 至 87% 之间的区域内。

[0029] 在根据本发明的又一实施例中,在终点和叶片的后缘之间的距离沿纵向长度朝向叶片的尖端增加。

[0030] 根据优选实施例,叶片被部分制造为由纤维增强聚合物材料制成的外壳构造。

[0031] 在一种有利实施例中,流动引导装置与叶片整体成形。因此,流动引导装置可以与叶片一同制造,例如通过如 VARTM 工艺的模制工艺被制造。在这种情况下,成形轮廓被认为是从入流表面的起点向入流表面的终点附近的第二点延伸的假想平滑连续表面。在另一有利实施例中,流动引导装置被装配在叶片的表面上。因此,叶片和流动引导装置可以被分别制造,并且之后流动引导装置被装配到叶片的表面。从而,用于制造叶片的模具的模制表面可以具有更加简单的形式而不需要有任何间断。这减少了当叶片在固化后要从模具被移除时叶片表面粘附于模制表面且因而被毁坏的可能性。根据又一有利实施例,流动引导装置可以主动地从成形轮廓显现或缩回到成形轮廓。流动引导装置可以被主动控制,以便根据工况,叶片可以使用或不使用从叶片的成形轮廓突出的流动引导装置来工作。

[0032] 如上所述,流动引导装置优选地基本沿叶片的过渡区域的整个纵向尺度延伸。不过,流动引导装置还可以延伸到根部区域内。

[0033] 根据一种实施例,流动引导装置具有带一定后方边缘高度的后方边缘,并且其中在流动引导装置的至少中心纵向部分内该后方边缘高度沿纵向方向朝向尖端减小。因而,

获得了具有从叶片的过渡区域到翼型区域的平滑过渡的特别简单的形状,并且其中后方边缘高度和外形厚度之间的比任选地可以保持基本恒定。

[0034] 根据另一实施例,流动引导装置具有带一定后方边缘高度的后方边缘,并且其中在流动引导装置的至少中心纵向部分内该后方边缘高度基本恒定。后方边缘高度可以从中心纵向部分向流动引导装置的纵向端部减小,以便获得向流动引导装置的纵向端部附近的成形轮廓的平滑过渡。当然,所描述的后两种实施例也涉及终点到成形轮廓的最小距离。

[0035] 流动引导装置的后方边缘可以向后指向叶片的后缘或者向前指向叶片的前缘。后方边缘可以是凹的、直的或凸的。

[0036] 根据叶片的有利实施例,叶片被设计用于工作于在过渡区域的中心纵向部分内具有 15-20 度的攻角的情况。

[0037] 流动引导装置能够以不同方式来设计。例如,其可以被形成作为肋、三角形或稍弯曲的形状。沿纵向方向,流动引导装置的形状和弦位置可以变化。根据有利实施例,流动引导装置是阻流板装置。

[0038] 根据另一有利实施例,叶片还具有在叶片的过渡区域和 / 或根部区域处的涡流发生器。当涡流发生器与流动引导装置被优化地放置在一起时,使得特别是叶片根部区具有甚至更好的性能。

附图说明

[0039] 在下文中参考附图中所示的实施例具体解释了本发明,附图中:

图 1 示出了风力涡轮机,

图 2 示出了具有根据本发明的流动引导装置的风力涡轮机叶片的第一实施例的示意图,

图 3 示出了翼型外形的示意图,

图 4 示出了根据本发明的风力涡轮机叶片的截面;

图 5 示出了具有根据本发明的流动引导装置的风力涡轮机叶片的第二实施例的示意图,

图 6 示出了作为距毂的径向距离的函数的、根据本发明的第一流动引导装置的后方边缘高度,

图 7 示出了作为距毂的径向距离的函数的、根据本发明的第二流动引导装置的后方边缘高度,

图 8 示出了用于根据本发明的流动引导装置的第一后方边缘形状,

图 9 示出了用于根据本发明的流动引导装置的第二后方边缘形状,

图 10 示出了用于根据本发明的流动引导装置的第三后方边缘形状,

图 11 示出了作为入射气流的攻角的函数的升力系数的图示,

图 12 示出了作为入射气流的攻角的函数的升力 - 阻力比的图示,

图 13 示出了用于设计根据本发明的风力涡轮机叶片的其他参数,

图 14 示出了具有根据本发明的流动引导装置的叶片的截面,

图 15 示出了作为流动引导装置的高度的函数的升力系数的图示,以及

图 16 示出了作为流动引导装置的高度的函数的升力 - 阻力比的图示,

图 17 示出了作为入射气流的攻角的函数的升力系数的图示,以及
图 18 示出了作为入射气流的攻角的函数的升力 - 阻力比的图示。

具体实施方式

[0040] 图 1 示出了根据所谓的“Danish 概念”的常规现代逆风风力涡轮机,其具有塔 4、机舱 6 和具有基本水平转子轴的转子。转子包括毂 8 和从毂 8 径向延伸的三个叶片 10,每个叶片 10 均具有最靠近毂的叶片根部 16 和最远离毂 8 的叶片尖端 14。

[0041] 图 3 示出了使用各种参数描述的风力涡轮机的典型叶片的翼型外形 50 的示意图,所述参数通常用于限定翼型的几何形状。翼型外形 50 具有压力侧 52 和吸力侧 54,在使用期间,即在转子旋转期间,所述压力侧 52 和所述吸力侧 54 通常分别面向迎风侧和背风侧。翼型 50 具有弦 60,该弦 60 具有在叶片的前缘 56 和后缘 58 之间延伸的弦长 c 。翼型 50 具有厚度 t ,该厚度 t 被定义为压力侧 52 和吸力侧 54 之间的距离。翼型的厚度 t 沿弦 60 变化。通过拱弧线 62 来得到距对称外形的偏移,该拱弧线 62 是穿过翼型外形 50 的中线。可以通过从前缘 56 向后缘 58 画内切圆来找到该中线。中线遵循这些内切圆的中心,并且距弦 60 的偏移或距离被称作拱度 f 。可以通过使用所谓的上拱度和下拱度的参数来定义不对称性,所述上拱度和所述下拱度被定义为分别从弦 60 到吸力侧 54 和压力侧 52 的距离。

[0042] 图 2 示出了根据本发明的风力涡轮机叶片 10 的第一实施例的示意图。风力涡轮机 10 具有常规风力涡轮机叶片的形状并且包括最靠近毂的根部区域 30、最远离毂的成形或翼型区域 34 以及在根部区域 30 和翼型区域 34 之间的过渡区域 32。叶片 10 包括当叶片被安装在毂上时面向叶片 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。

[0043] 关于产生升力,翼型区域 34 (也被称为成形区域)具有理论上或几乎理论上的叶片形状,而由于结构性考虑的原因,根部区域 30 具有基本圆形或椭圆形截面,这例如使得更容易且更安全地将叶片 10 安装于毂。根部区域 30 的直径(或弦)通常沿整个根部区 30 是恒定的。过渡区域 32 具有从根部区域 30 的圆形或椭圆形形状 40 向翼型区域 34 的翼型外形 50 逐渐变化的过渡外形 42。过渡区域 32 的宽度通常随着距毂的距离 r 的增加而基本线性增加。

[0044] 翼型区域 34 具有翼型外形 50,且翼型外形 50 具有在叶片 10 的前缘 18 和后缘 20 之间延伸的弦。弦的宽度随距毂的距离 r 的增加而减小。

[0045] 应该注意到,叶片的不同段的弦通常不位于公共平面内,因为叶片会扭曲和 / 或弯曲(即,预弯曲),因此提供了具有相应扭曲和 / 或弯曲过程的弦平面,这种情况是常见的,以便补偿取决于距毂的半径的叶片的局部速度。

[0046] 根据本发明的风力涡轮机叶片 10 具有流动引导装置 70,该装置 70 在叶片的过渡区域 32 内从叶片的压力侧突出。

[0047] 图 4 示出了在过渡区域 32 内的风力涡轮机叶片 10 的截面。在这个区域内的风力涡轮机包括具有过渡外形 42 的成形轮廓,该过渡外形 42 从根部区域 32 的圆形外形 40 逐级变化成翼型区域的翼型外形 50。过渡外形是来自于非理想状态的空气动力学观点。可以看出外形具有平滑形状,流动引导装置 70 在叶片的压力侧上从其突出。流动引导装置 70 包括具有起点 74 和终点 76 的入流表面 72,在起点 74 处入流表面 72 连续地延展到叶片的

成形轮廓 42, 在终点 76 处流动从外形脱离。如果流动引导装置被改装到叶片 10 的表面, 则起点 74 也可以被看作是流动引导装置 70 的连接点。流动引导装置 70 还包括后方边缘 84, 该后方边缘 84 从终点 76 延伸到叶片 10 的成形轮廓 42。流动引导装置 70 的入流表面 72 和成形轮廓 42 之间的距离朝向叶片的后缘增加, 以便流动引导装置具有楔形形状。入流表面 72 可以是基本直的或者可以如图 4 所示是稍弯曲的。

[0048] 入流表面 72 被成形为, 针对过渡区域 32 的至少中心纵向部分 71 中的各横向截面, 在终点 76 处入流表面 72 的终点切线 80 在交叉点 82 处相交于成形轮廓 42, 在该交叉点 82 处成形轮廓 42 具有与成形轮廓相切的外形切线 78。终点切线 80 和外形切线 78 形成彼此间的交叉角度 α 。应该注意到, 终点切线和外形切线形成多于一个角。从下述具体描述中可以显而易见, 角度 α 是在终点切线的外部 and 外形切线的朝向叶片的后缘延伸的部分之间的角。换言之, 角度 α 位于叶片外形外部最靠近叶片的后缘的象限内。两条切线 78、80 形成锐角和钝角(除非它们彼此垂直)。因此, 从说明书中显而易见这是锐角, 是至少 45 度。

[0049] 此外, 另一设计参数可以用于流动引导装置 70 的设计, 并且具体地是, 入流表面 72 的形状, 即第二角度 θ , 其是流动引导装置 70 的入流表面 72 的中线 86 与成形轮廓 42 的弦 44 之间的角度。

[0050] 入流引导装置 70 用于阻碍在外形的压力侧上的流动。这种阻碍导致了, 由于流动从表面脱离, 在流动引导装置 70 之后, 即在流动引导装置 70 和风力涡轮机叶片的后缘之间具有更大压力。在流动引导装置 70 之后, 即在流动引导装置 70 和风力涡轮机叶片的后缘之间, 产生气流分离。

[0051] 当角度 α 是至少 45 度时, 实验已经证明相比于具有简单流动引导装置的现有技术叶片, 过渡区域 32 的截面的升力 - 阻力比能够显著增加。这是不希望的, 因为由于来自流动引导装置的气流具有更大的“释放角”, 分离度且因而外形上引起的阻力会显著增加。实验已经证明大于 60 度且高达 90 度的更大角度对于升力 - 阻力比提供了进一步的改善。

[0052] 在第一实施例中, 在图 2 和图 7 中可见, 流动引导装置的后方边缘 84 的高度 h 沿纵向方向(或距轂的径向方向)朝向叶片的尖端 r 减小。后方边缘 84 的高度被示作是距离轂的径向距离 r 的函数, 如图 7 所示。在流动引导装置 70 最靠近轂的纵向端部处, 流动引导装置 70 被倒圆角或呈锥形以便获得向叶片的成形轮廓的平滑过渡。后方边缘高度 h 对应沿与弦垂直的方向在流动引导装置的终点与成形轮廓之间的距离。

[0053] 图 5 示出了根据本发明的叶片 110 的第二实施例, 其中类似附图标记指代图 2 所示第一实施例中的类似部件。因此, 仅描述两种实施例间的区别。第二实施例的不同之处在于流动引导装置 170 的后方边缘 184 的高度至少在中心部分 171 内沿叶片的纵向方向基本恒定。这也在图 6 中被示出。如图 6 所示, 流动引导装置 170 在流动引导装置 170 的纵向端部附近能够被倒圆角或呈锥形以便获得向叶片的成形轮廓的平滑过渡。

[0054] 流动引导装置 70、170 的后方边缘 84、184 的形状可以具有各种形状。后方边缘可以例如如图 8 所示向后指向叶片的后缘, 如图 4 所示被定向为基本横于弦, 或者向前指向叶片的前缘(未示出)。后方边缘可以如图 8 所示是直的, 如图 9 所示是凹的, 或者如图 10 所示是凸的。

[0055] 根据两种实施例的流动引导装置 70、170 必须被设计成使得针对流动引导装置 70、170 的中心部分 71、171 内的每个横向截面而言角度 α 是至少 45 度。此外, 流动引导装

置 70、170 被设置在某一位置,以便当叶片 10、110 被入射气流冲击时,在流动引导装置 70、170 和叶片 10、110 的后缘 20、120 之间的点处沿流动引导装置 70、170 的至少中心纵向部分 71、171 从叶片的压力侧产生气流分离。在流动引导装置 70、170 的纵向端部附近,设计多样性可以落在这些设计参数的范围之外。优选地,流动引导装置的中心部分 71、171 沿流动引导装置 70、170 的纵向尺度的至少 80% 延伸。

[0056] 图 11 和图 12 分别示出了在变化角度 α 和流动引导装置的恒定后方边缘高度的情况下作为攻角 AOA 的函数的升力系数 c_l 和升力 - 阻力比 c_l/c_d 的图示。在这些测量中已经被测试的具体外形被设计为在落入近似 15 至 20 度范围内的攻角 AOA 的情况下工作。此外,入流表面是基本直的。

[0057] 在图 11 中,第一图示 210 示出了 $\alpha=25$ 度情况下作为攻角 AOA 的函数的升力系数 c_l ,第二图示 220 示出了 $\alpha=65$ 度情况下作为攻角 AOA 的函数的升力系数 c_l ,并且第三图示 230 示出了 $\alpha=85$ 度情况下作为攻角 AOA 的函数的升力系数 c_l 。可以看出,在设计 AOA 的范围内升力系数显著增加。 $\alpha=85$ 度情况下的升力系数比 $\alpha=25$ 度情况下的升力系数例如大 10-12%。

[0058] 在图 12 中,第一图示 240 示出了 $\alpha=25$ 度的情况下作为攻角 AOA 的函数的升力 - 阻力比 c_l/c_d ,第二图示 250 示出了 $\alpha=65$ 度的情况下作为攻角 AOA 的函数的升力 - 阻力比 c_l/c_d ,并且第三图示 260 示出了 $\alpha=85$ 度的情况下作为攻角 AOA 的函数的升力 - 阻力比 c_l/c_d 。可以看出,在设计 AOA 的范围内升力 - 阻力比显著增加。 $\alpha=85$ 度情况下的升力系数比 $\alpha=25$ 度情况下的例如大近似 5%。

[0059] 应该注意到,第二角度 θ 可以用作设计流动引导装置的补充或替代参数。在这种情况下,根据本发明,第二角度 θ 应该是至少 25 度。图 11 和图 12 示出的图示分别对应于 0、45 和 60 度的第二角度 θ 。因为入流表面是直的,所以第二角度 θ 也对应于终点切线和弦之间的角度。

[0060] 还已发现,流动引导装置的高度以及流动引导装置的弦位置与叶片的性能相关。因此,当设计流动引导装置时必须引入另一设计参数,即流动引导装置的高度(或等价地终点到叶片的成形轮廓的最小距离 d_{ep})以及终点的相对弦位置 c_{ep} 。这些参数在图 13 中被示出。因此,可以看出,设计参数 d_{ep} 被给定为沿成形轮廓的法线从入流表面的终点到成形轮廓的距离。因此,最小距离对应于中心在入流表面的终点处且仅接触叶片的成形轮廓的单个点的圆的半径。流动引导装置的高度在下文中被描述为相对高度,其针对给定截面被给定为终点到成形轮廓的最小距离与成形轮廓在该截面内的最大厚度 t_{max} 之间的比 d_{ep}/t_{max} 。

[0061] 流动引导装置高度的增加也显著增加了具体叶片的阻力。不过,实验已经惊人地证明了与相对高度基本小于 10% 的常规流动引导装置相比,根据本发明的流动引导装置虽然阻力增加但是仍显著提高了整体升力和 / 或整体升力 - 阻力比。

[0062] 从图 11 和图 12 绘制的实施例可以看出,在 60 至 90 度的释放角度范围内,升力 - 阻力比基本恒定。因此,实验证明,使用从叶片的成形轮廓基本法向地突出的流动引导装置是足够的。这样的实施例在图 14 中被示出,其中类似附图标记对应图 4 所示的实施例中的类似部件,并且其中可以看出基本肋型的流动引导装置 270 在叶片的吸力侧上从表面突出。在这个实施例中的入流表面 272 面向进入的流动或者朝向叶片的前缘。能够通过使用第一附连装置 294 和第二附连装置 296 将流动引导装置 270 安装到叶片的表面,其可以

以任意常规方式被连接到叶片,例如通过胶粘或通过使用螺母和螺栓装置。可替代地,使用仅具有单个附连装置的角杆是足够的。

[0063] 图 15-18 分别示出了升力系数 c_l 和升力-阻力比 c_l/c_d 的图示,并且其中可以看出流动引导装置的高度变化的影响。在过渡外形上进行试验,该过渡外形具有 450mm 的弦长和 280mm 的最大厚度。所用的流动引导装置是被安装到外形的压力侧的肋。在两个安装点处测试流动引导装置,其中第一安装点距叶片的前缘 210mm、对应 47% 的相对弦位置,第二安装点距叶片的前缘 410mm、对应 91% 的相对弦位置。使用的三个不同的肋分别具有 20mm、30mm 和 40mm 高度,分别对应 7.1%、10.7% 和 14.3% 的相对高度。

[0064] 在图 15 中,第一图示 310 示出了 9 度攻角且被安装在 47% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力系数 c_l 。第二图示 315 示出了 27 度攻角且被安装在 47% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力系数 c_l 。第三图示 320 示出了 9 度攻角且被安装在 91% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力系数 c_l 。第四图示 325 示出了 27 度攻角且被安装在 91% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力系数 c_l 。

[0065] 图 16 示出了升力-阻力比 c_l/c_d 的对应图示。第一图示 330 示出了 9 度攻角且被安装在 47% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。第二图示 335 示出了 27 度攻角且被安装在 47% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。第三图示 340 示出了 9 度攻角且被安装在 91% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。第四图示 345 示出了 27 度攻角且被安装在 91% 的相对弦位置处的情况下作为肋高度的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。

[0066] 在图 17 中,第一图示 350 示出了流动引导装置被安装在 47% 的相对弦位置处且具有 7.1% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力系数 c_l 。第二图示 355 示出了流动引导装置被安装在 47% 的相对弦位置处且具有 14.3% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力系数 c_l 。第三图示 360 示出了流动引导装置被安装在 91% 的相对弦位置处且具有 7.1% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力系数 c_l 。第四图示 365 示出了流动引导装置被安装在 91% 的相对弦位置处且具有 14.3% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力系数 c_l 。

[0067] 图 18 示出了升力-阻力比 c_l/c_d 的对应图示。第一图示 370 示出了流动引导装置被安装在 47% 的相对弦位置处且具有 7.1% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。第二图示 375 示出了流动引导装置被安装在 47% 的相对弦位置处且具有 14.3% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。第三图示 380 示出了流动引导装置被安装在 91% 的相对弦位置处且具有 7.1% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。第四图示 385 示出了流动引导装置被安装在 91% 的相对弦位置处且具有 14.3% 的相对高度的情况下作为攻角的函数的升力-阻力比 c_l/c_d 。

[0068] 从图 15 中可以看出,当流动引导装置的高度增加时,升力系数增加;这与流动引导装置的位置和入流的攻角无关。通过将流动引导装置的相对高度从 7.1% 增加到 14.3%,根据装置的位置和攻角,升力增加 15%–50%。对于所有装置位置和工作攻角而言,趋势是,流动引导装置的高度越高,则升力系数越大。这也被图 17 所支持,并且申请人进行了额外的实验(未示出)。

[0069] 从图 15 中还可以看出,在入流攻角较小的工况下应该朝向叶片的前缘移动流动

引导装置。相反地,当攻角较大时应该朝向叶片的后缘移动流动引导装置。在转子叶片上,由于局部旋转速度增大的原因,随着叶片半径的增加,流动角度将减小。因此,当沿外侧方向朝向翼型区域观察时,在根部区域附近,应该朝向叶片的后缘,例如 90% 的相对弦位置附近,来移动流动引导装置,并且之后流动引导装置应该接近前缘,例如 50% 的相对弦位置附近。

[0070] 图 16 示出了独立于流动引导装置的高度,当朝向叶片的后缘移动流动引导装置时升力 - 阻力比增加。

[0071] 如图 17 所示,当流动引导装置被置于叶片的后缘附近时,随着攻角的增大,升力系数将增加,而针对流动引导装置的前向位置,升力系数将开始减小。因此,根据给定截面处的准确入流角度,对于流动引导装置而言具有产生最大可能升力系数的一个优化部位。

[0072] 图 18 示出了与改变流动引导装置的高度的影响相比,作为攻角函数的升力 - 阻力比的变化是不显著的。还可以看出,当流动引导装置运动到前向位置,即朝向叶片的前缘运动时,流动引导装置的高度变化的效果减小。因此,入流角度的工作范围可以被扩展。

[0073] 已经参考优选实施例描述了本发明。不过本发明的范围不限于所示实施例,并且在 不偏离本发明范围的情况下能够实现替代方式和改型。

[0074] 附图标记列表

- 2 风力涡轮机
- 4 塔
- 6 机舱
- 8 毂
- 10 叶片
- 14 叶片尖端
- 16 叶片根部
- 18 前缘
- 20 后缘
- 30 根部区域
- 32 过渡区域
- 34 翼型区域
- 40、42、50 成形轮廓 / 外形
- 44 弦
- 52 压力侧
- 54 吸力侧
- 56 前缘
- 58 后缘
- 60 弦
- 62 拱弧线 / 中线
- 70 流动引导装置 / 阻流板
- 71 中心纵向部分
- 72 入流表面

- 74 起点
- 76 终点
- 78 外形切线
- 80 终点切线
- 82 交叉点
- 84 流动引导装置的后方边缘
- 86 入流表面的中线
- 210-260 图示
- 294 第一附连装置
- 296 第二附连装置
- 310-385 图示
- a 在外形切线和终点切线之间的角度
- c 弦长
- c_1 升力系数
- c_1/c_d 升力 - 阻力比
- d_t 最大厚度的位置
- d_f 最大拱度的位置
- f 拱度
- t 厚度
- t_{\max} 截面外形的最大厚度

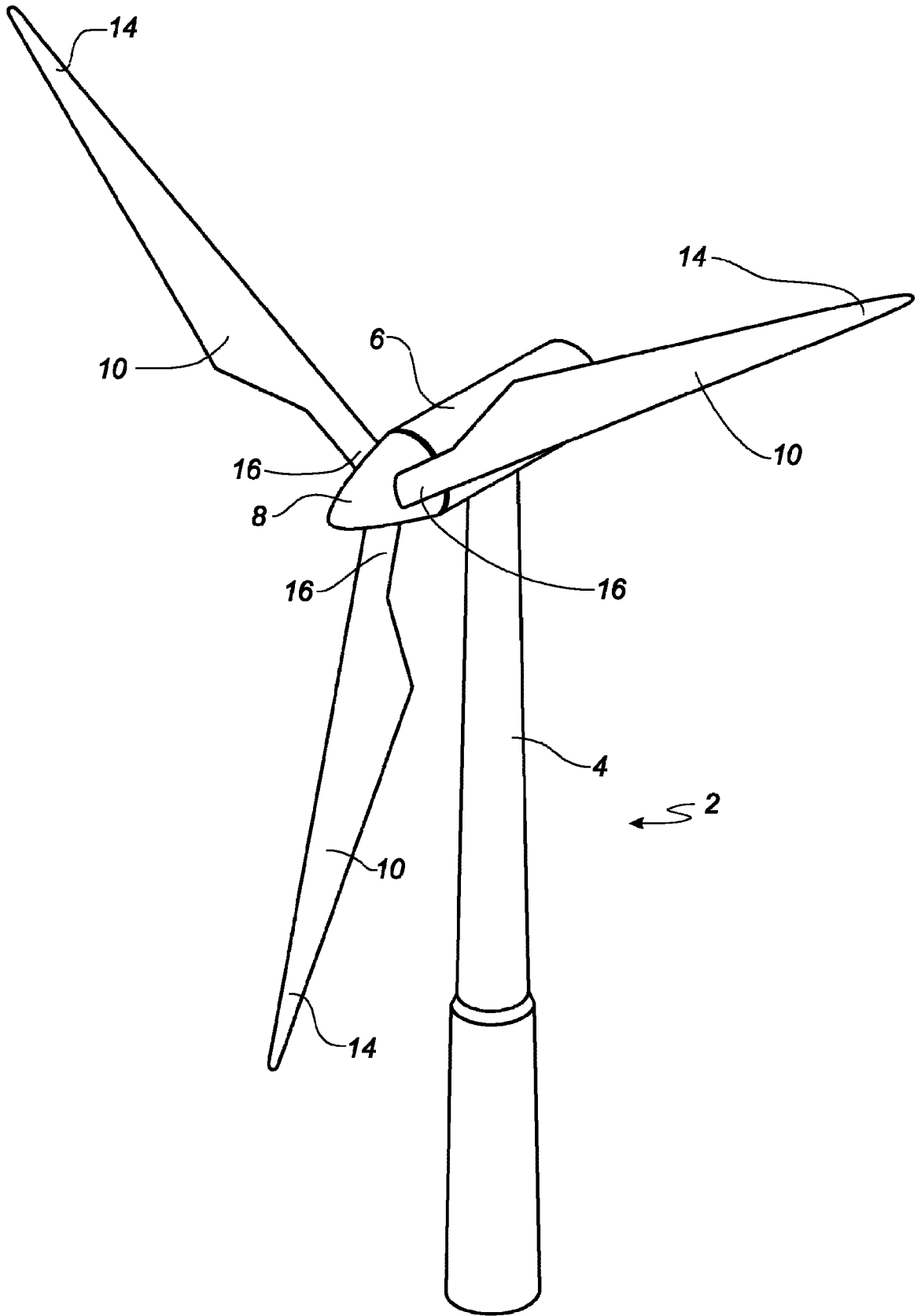


图 1

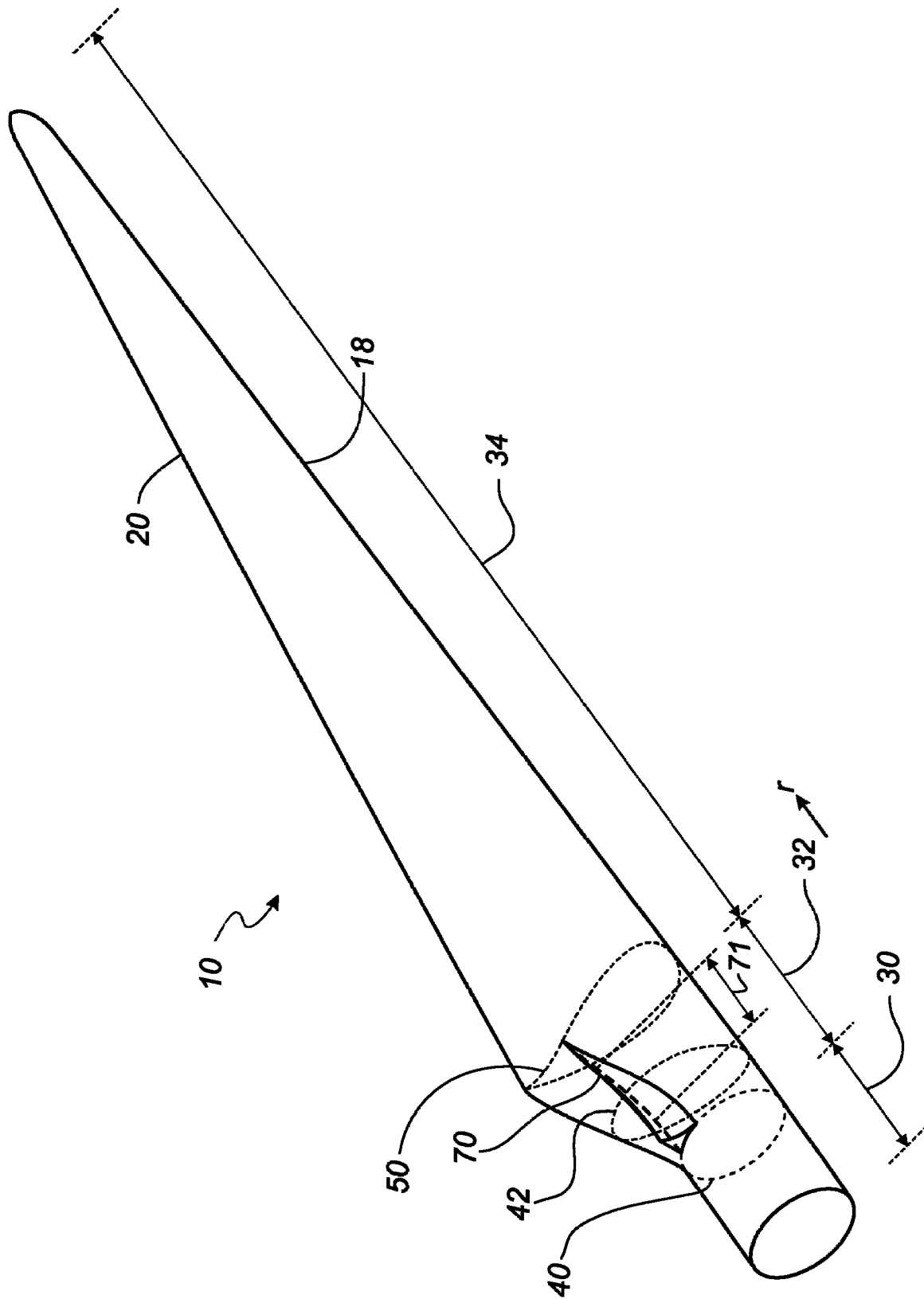


图 2

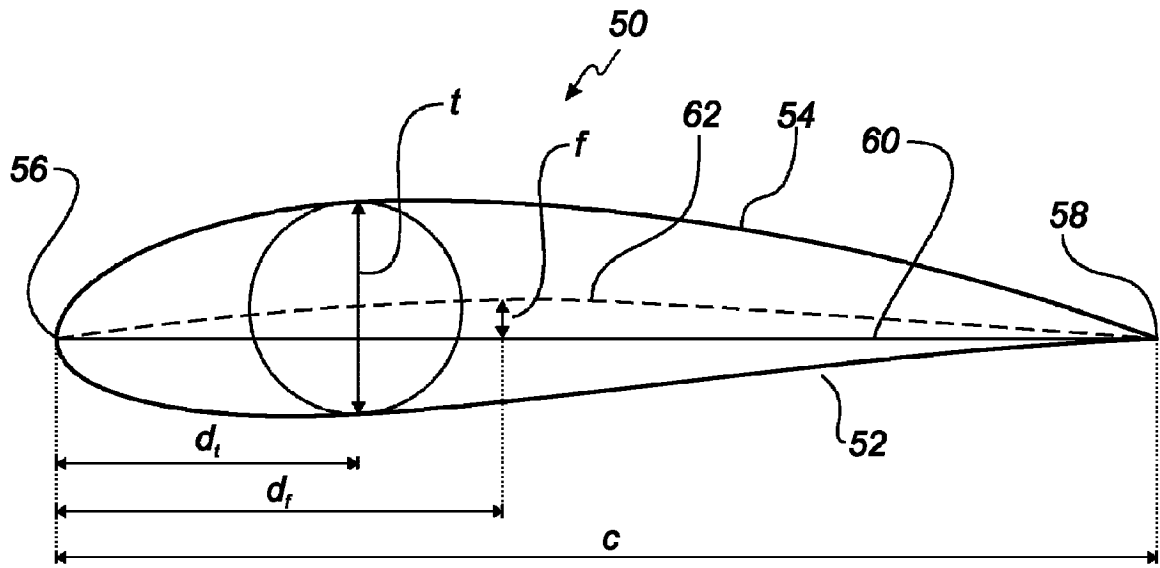


图 3

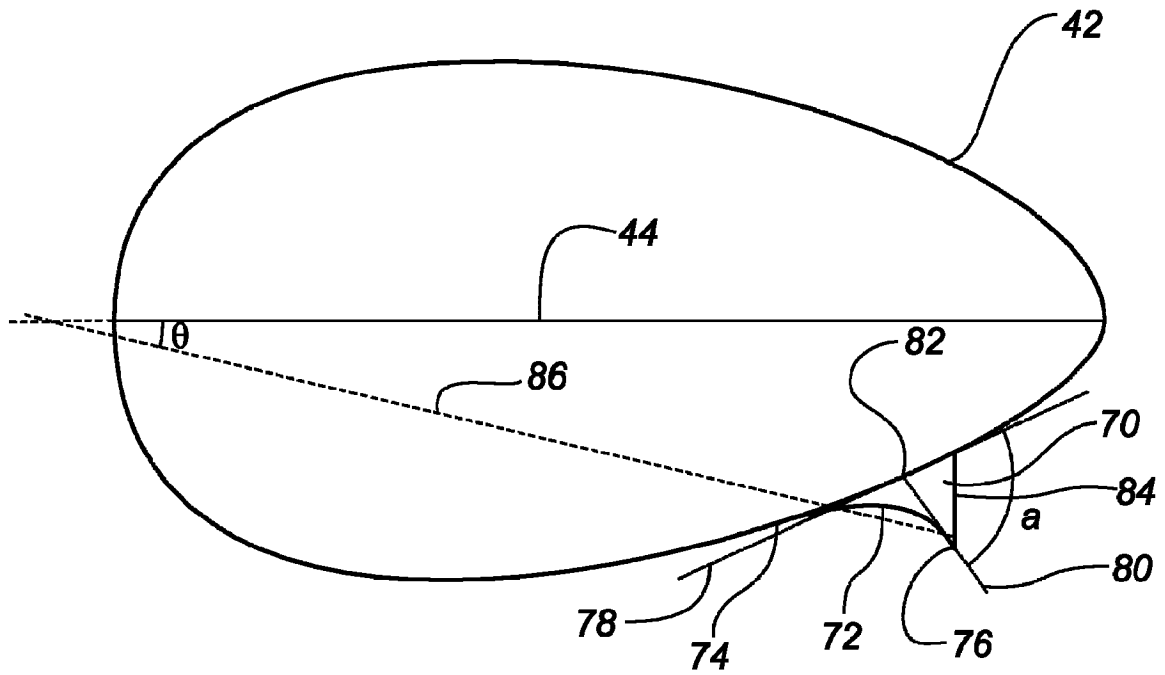


图 4

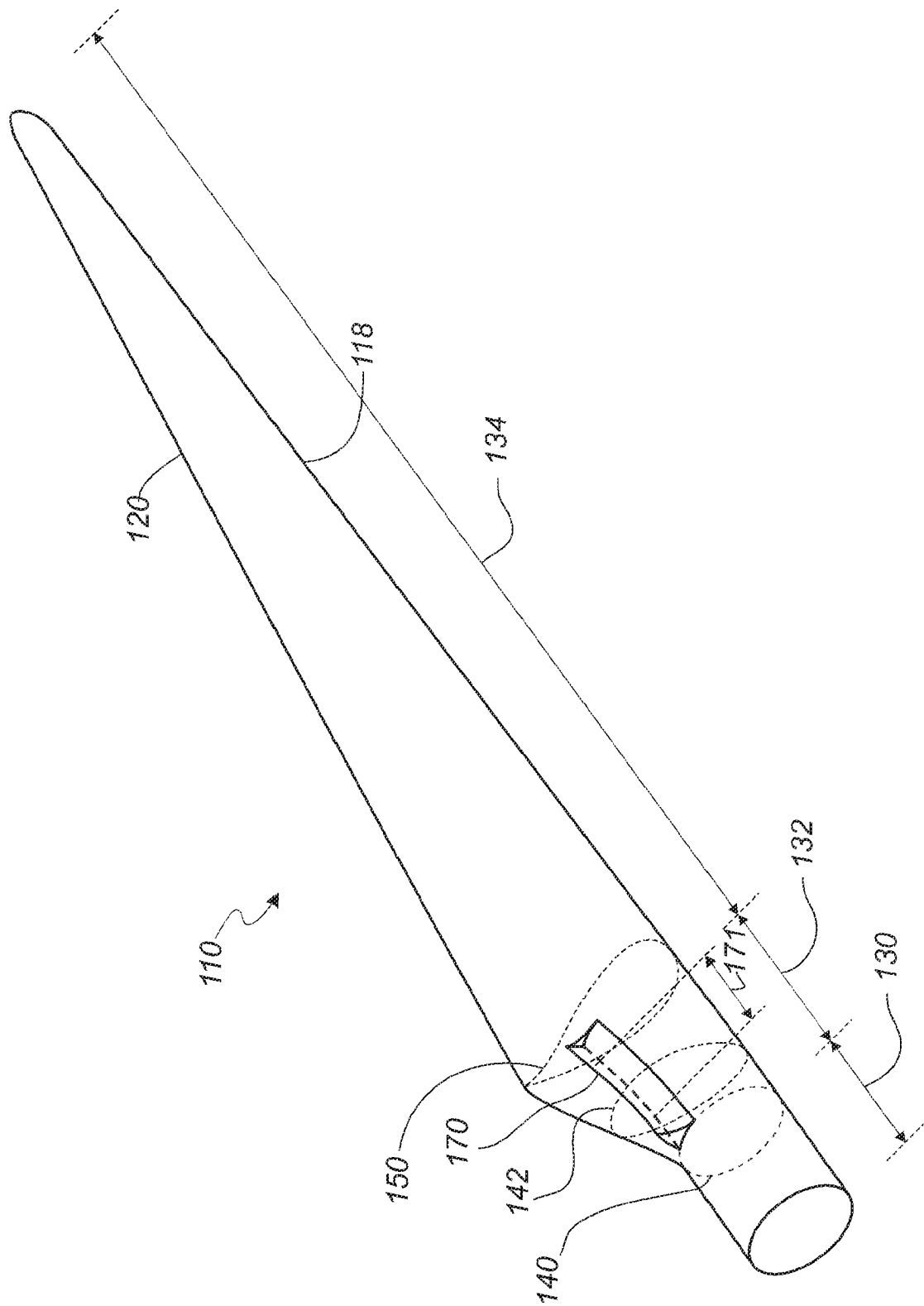


图 5

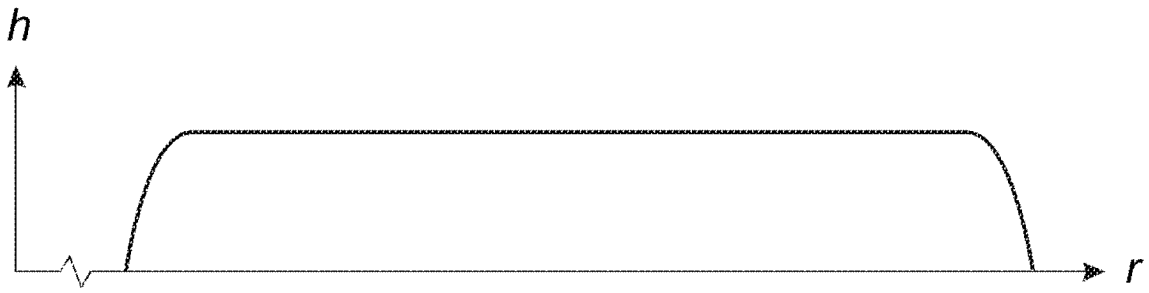


图 6

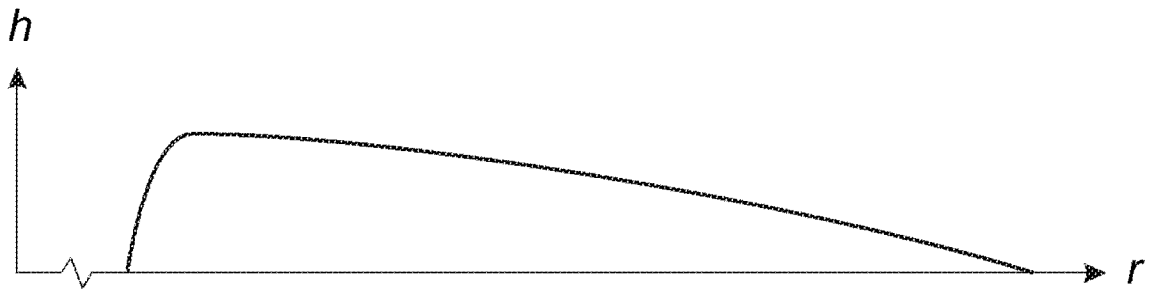


图 7

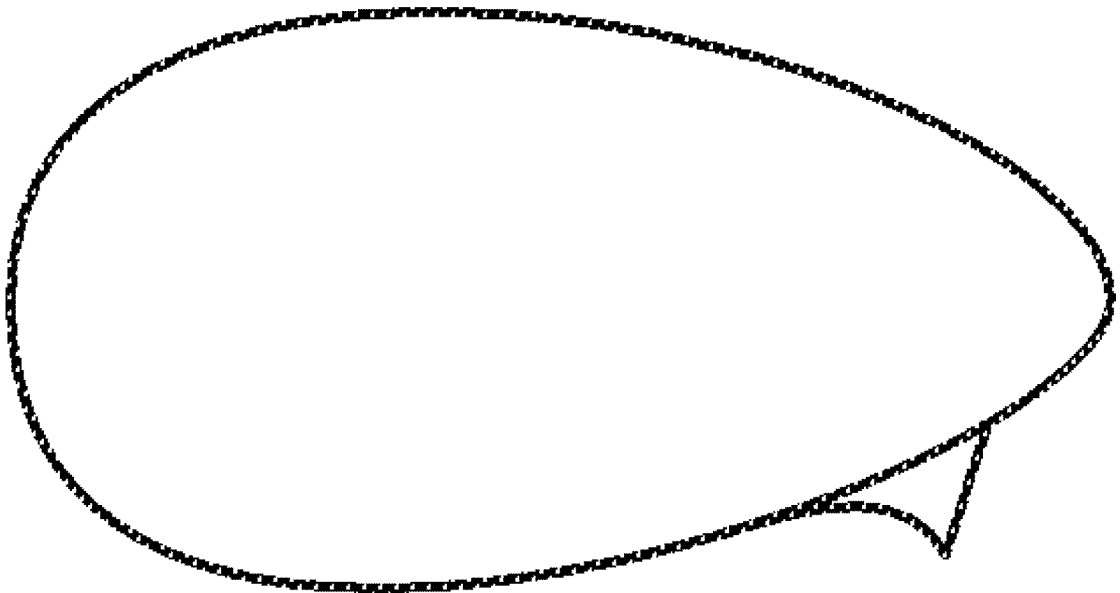


图 8

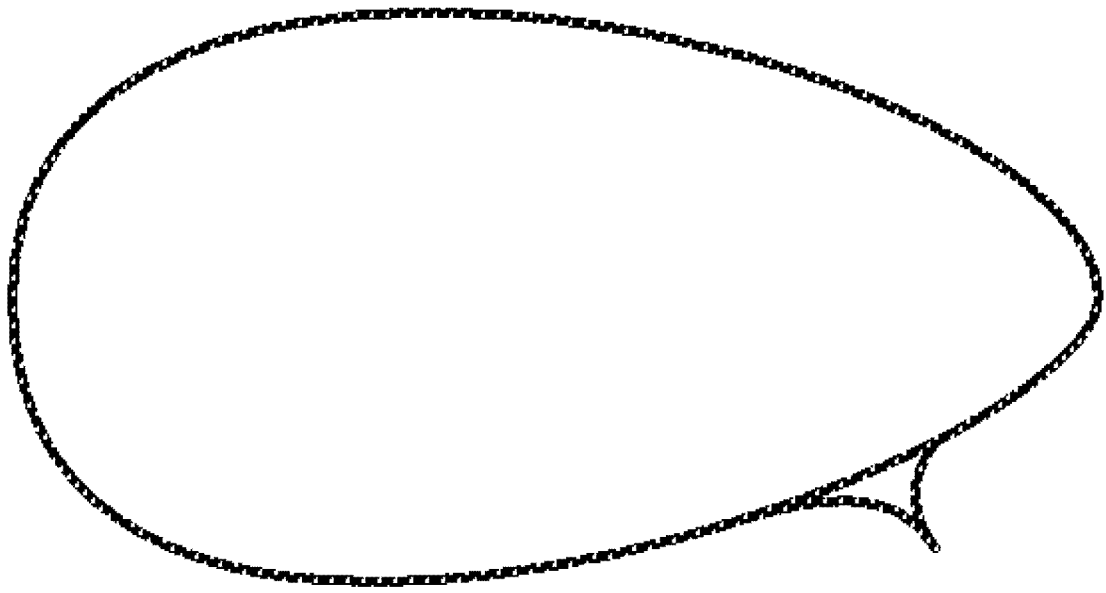


图 9

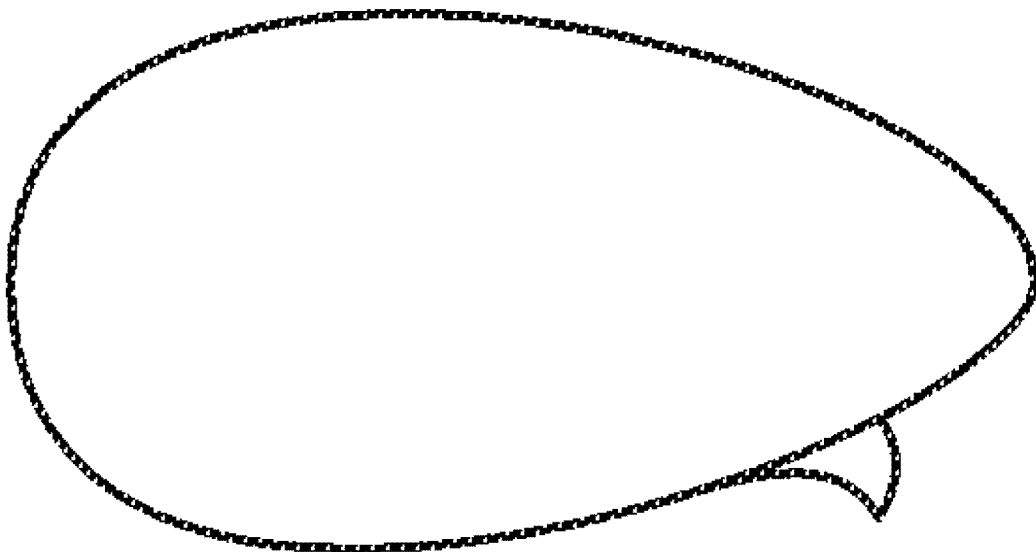


图 10

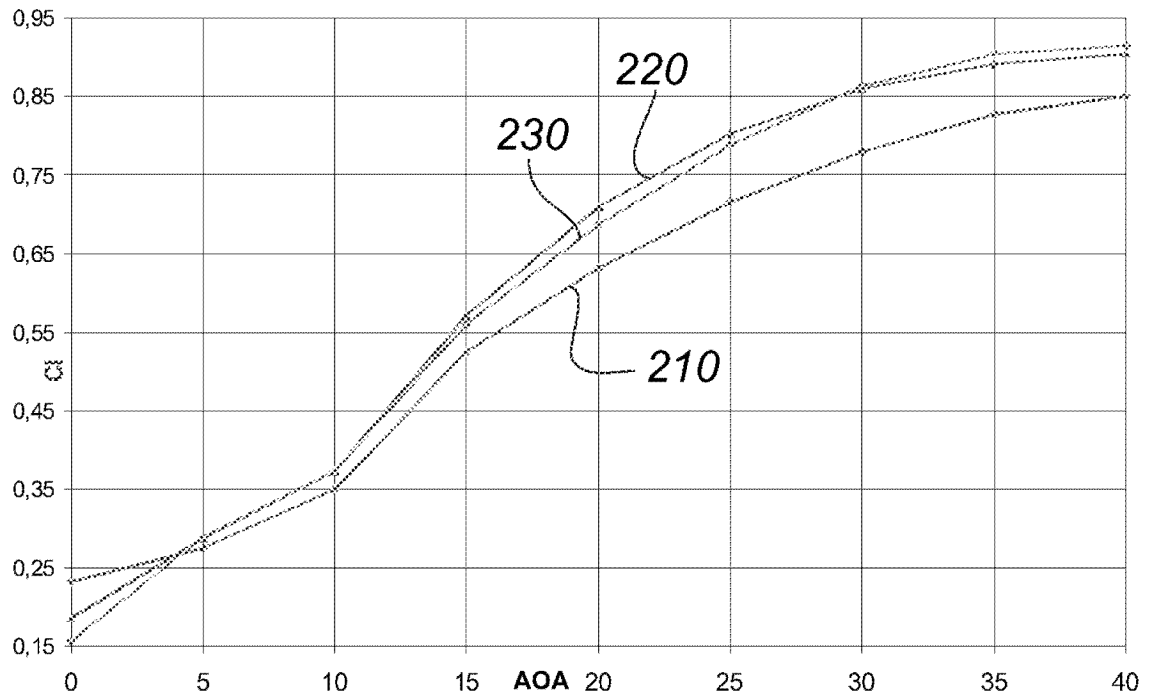


图 11

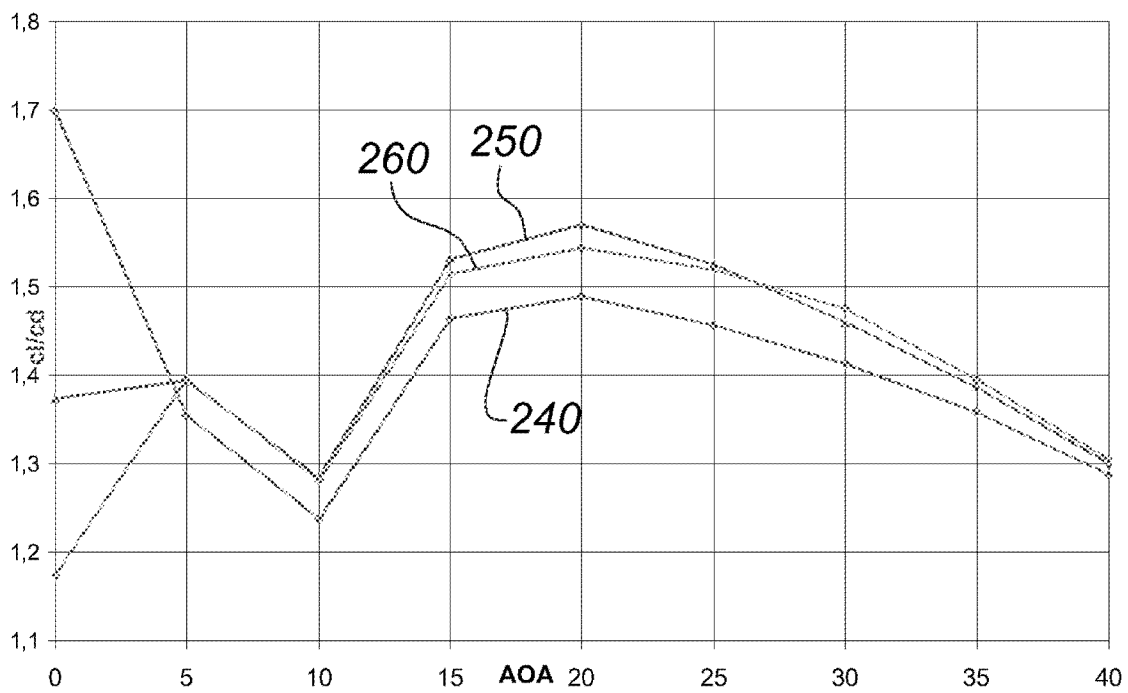


图 12

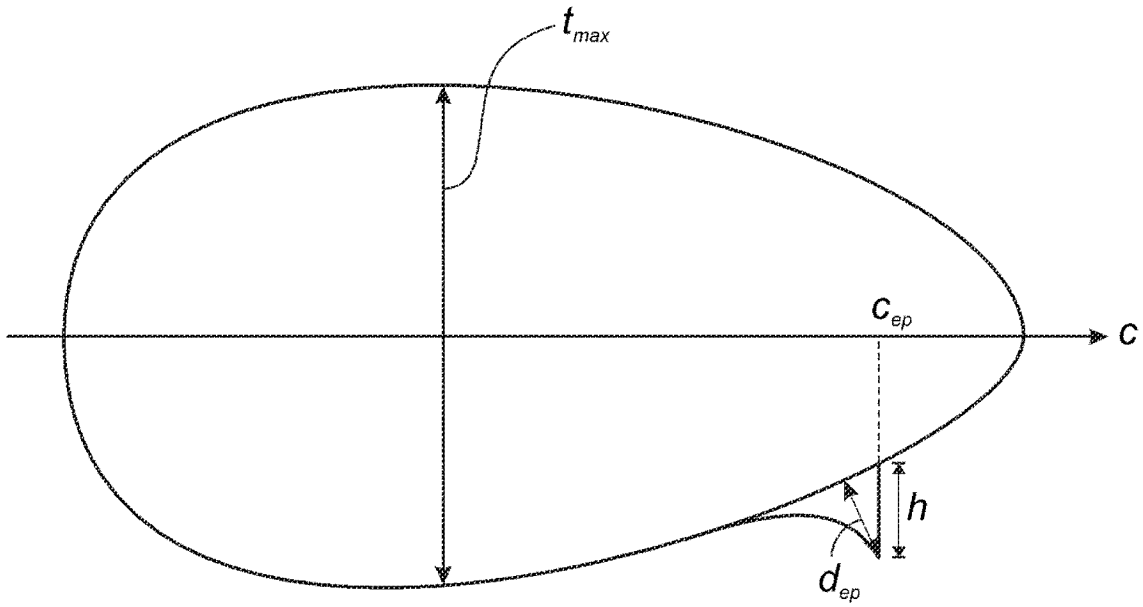


图 13

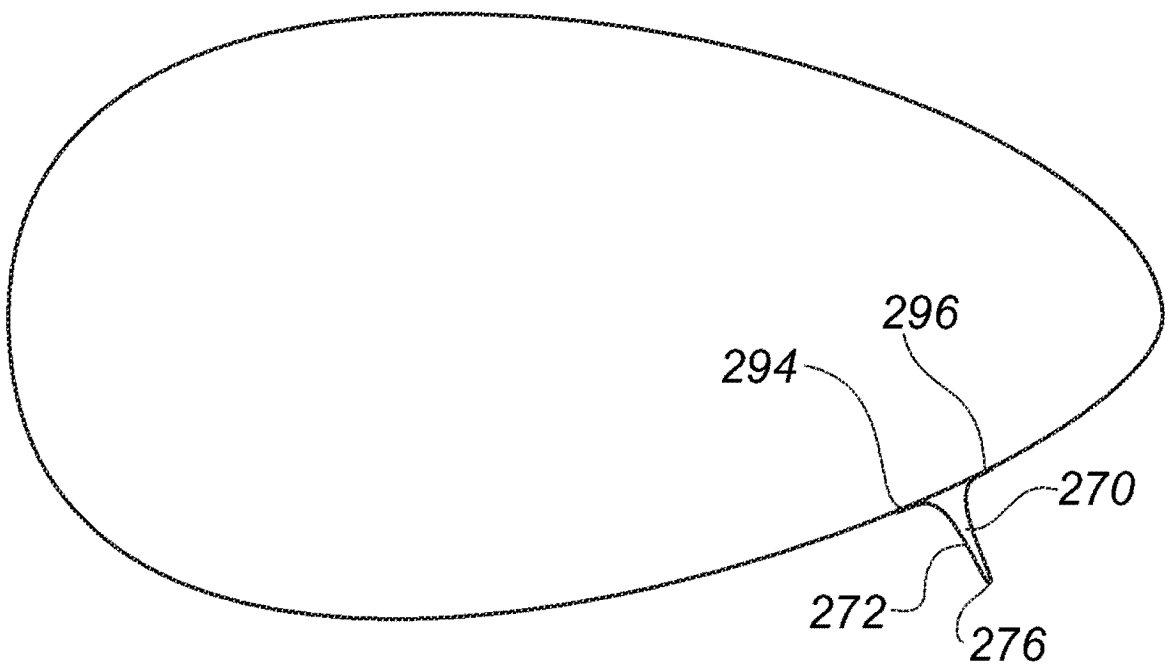


图 14

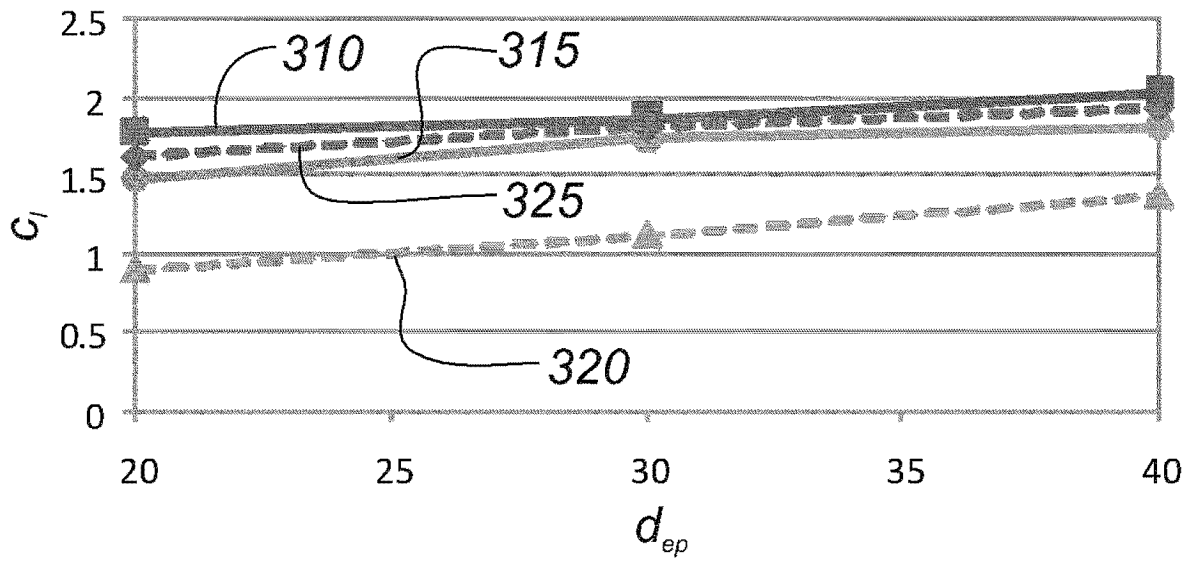


图 15

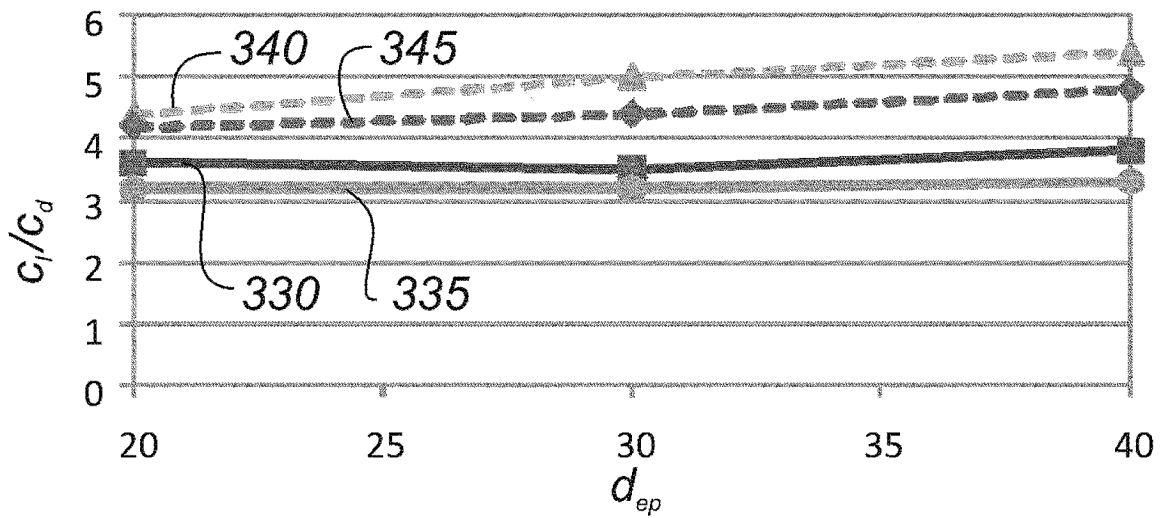


图 16

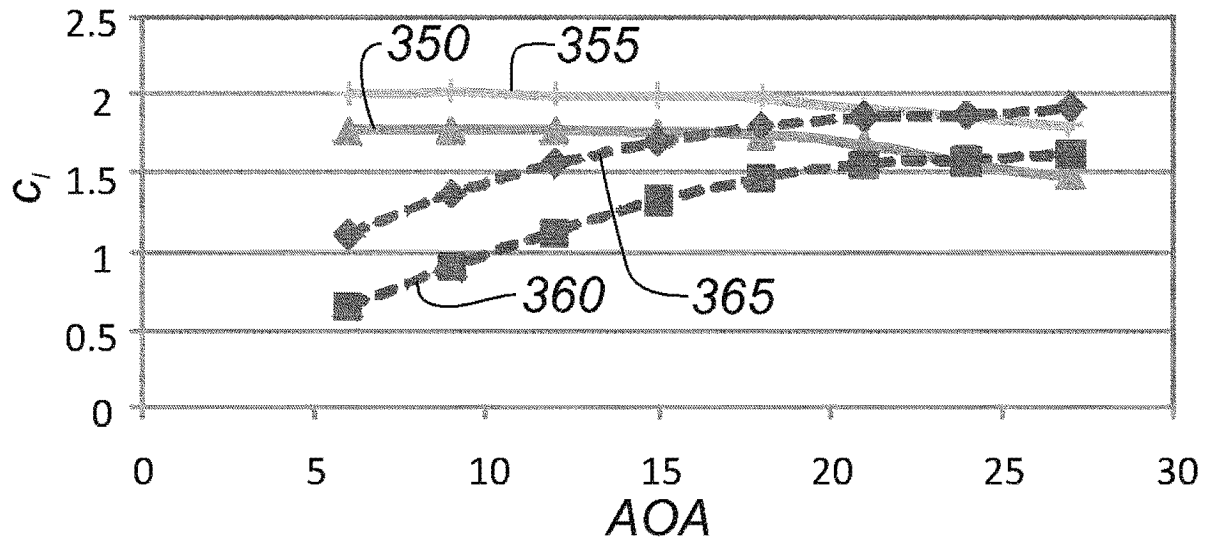


图 17

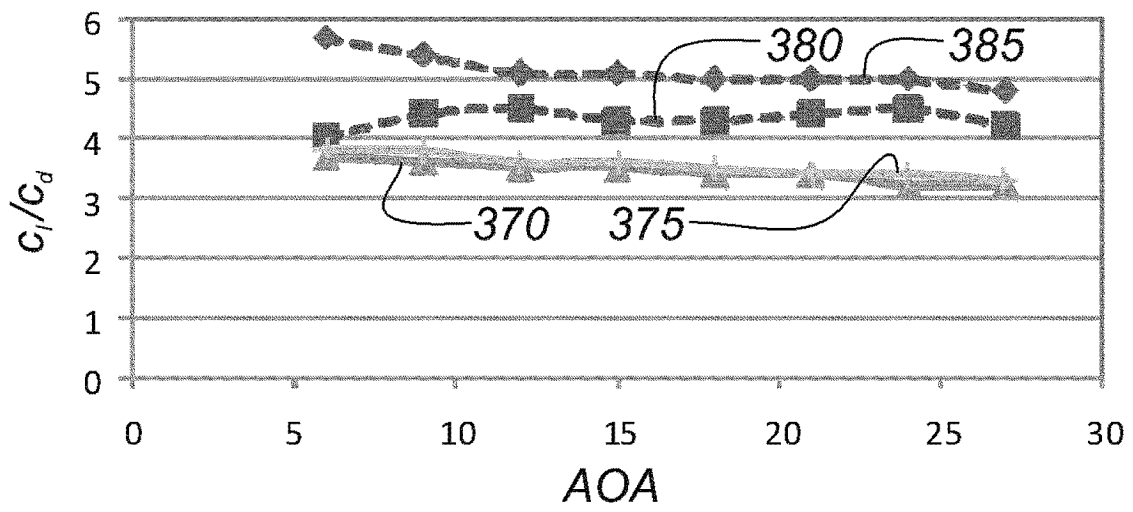


图 18