



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107076108 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(21)申请号 201580051048.8

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

(22)申请日 2015.09.23

有限公司 11262

(30)优先权数据

1451129-9 2014.09.25 SE

代理人 汤慧华 郑霞

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(51)Int.Cl.

2017.03.22

F03D 1/06(2006.01)

F03D 13/00(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/SE2015/050992 2015.09.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/048221 EN 2016.03.31

(71)申请人 赢富尔股份公司

地址 瑞典隆德

(72)发明人 R·贝尔斯尔森

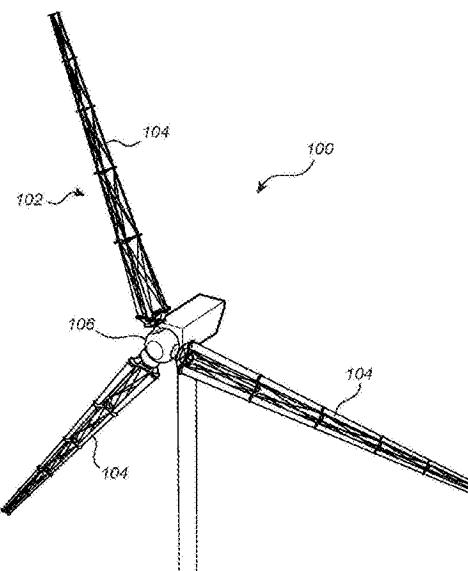
权利要求书2页 说明书16页 附图5页

(54)发明名称

用于风力涡轮机的转子叶片

(57)摘要

提供了一种用于风力涡轮机的转子的叶片(104)。叶片(104)包括：具有形成桁架状结构的支柱构件(108;110;112)的桁架状三维结构，其中桁架状结构中的多个支柱构件(108;110;112)具有翼型形状的横截面。



1. 一种用于风力涡轮机的转子的叶片，所述叶片(104)包括：

桁架状三维结构，其具有形成所述桁架状结构的支柱构件(108;110;112)，其中所述桁架状结构中的多个所述支柱构件(108;110;112)具有翼型形状的横截面。

2. 根据权利要求1所述的叶片，其中，所述桁架状结构包括大体上沿所述叶片(104)的纵向方向延伸的多个纵向支柱构件(108)，其中所述纵向支柱构件(108)具有翼型形状的横截面。

3. 根据权利要求1或2所述的叶片，其中，所述桁架状结构还包括至少一个连接器(110)，其中所述至少一个连接器(110)布置成在所述叶片(104)的横截面方向上延伸并且连接到多个纵向支柱构件(108)，所述多个纵向支柱构件(108)大体上沿所述叶片(104)的纵向方向延伸。

4. 根据权利要求3所述的叶片，其中，所述桁架状结构还包括多个斜支柱构件(112)，其中斜支柱构件(112)从第一纵向支柱构件(108)和第一连接器(110)之间的连接点延伸到第二纵向支柱构件(108)和第二连接器(110)之间的连接点。

5. 根据权利要求3或4所述的叶片，其中，所述至少一个连接器(110)包括板状结构(126)，所述板状结构(126)具有用于接纳纵向支柱构件(108)的贯通孔(132)。

6. 根据权利要求5所述的叶片，其中，所述贯通孔(132)在所述板状结构(126)中成角度，以便控制所述纵向支柱构件(108)沿所述叶片(104)的所述纵向方向的扭曲。

7. 根据权利要求2-6中的任一项所述的叶片，其中，所述纵向支柱构件(108)的翼型形状的横截面的比例在所述纵向支柱构件(108)的大体上整个长度上是恒定的。

8. 根据权利要求2-6中任一项所述的叶片，其中，所述纵向支柱构件(108)沿着所述叶片(104)的整个纵向方向分开。

9. 一种风力涡轮机，包括至少一个根据前述权利要求中的任一项所述的叶片(104)。

10. 一种用于风力涡轮机的转子的叶片的节段，所述节段(200)包括：

第一连接器和第二连接器(110a;110b)，所述第一连接器和所述第二连接器(110a;110b)各自在所述叶片(104)的横截面方向上延伸；

第一纵向支柱构件和第二纵向支柱构件(108)，所述第一纵向支柱构件和所述第二纵向支柱构件(108)各自大体上沿所述叶片(104)的纵向方向延伸并且连接到所述第一连接器和所述第二连接器(110a;110b)；和

斜支柱构件(112)，其从所述第一纵向支柱构件(108)和所述第一连接器(110a)之间的连接点延伸到所述第二纵向支柱构件(108)和所述第二连接器(110b)之间的连接点；

其中至少纵向支柱构件(108)或斜支柱构件(112)具有翼型形状的横截面。

11. 一种连接器，用于连接用于风力涡轮机的转子的叶片(104)的子叶片(108)，所述连接器包括：

多个板状结构(126)，所述多个板状结构(126)各自具有用于接纳子叶片(108)的贯通孔(132)；

其中所述多个板状结构(126)彼此连接以用于连接所述叶片(104)的所述子叶片(108)。

12. 根据权利要求11所述的连接器，其中，所述贯通孔(132)在所述板状结构(126)中成角度，以便控制围绕所述子叶片(108)的纵向轴线的所述翼型形状的横截面的旋转角。

13. 一种用于风力涡轮机的转子的叶片(104)的子叶片,其中所述子叶片(108)是长形的并且具有翼型形状的横截面,长形的子叶片(108)的翼型形状的横截面的比例在长形的子叶片(108)的大体上整个长度上是恒定的,其中所述子叶片(108)被制造成使围绕所述子叶片(108)的纵向轴线的所述翼型形状的横截面的旋转角是恒定的,并且所述子叶片(108)构造成能够使所述翼型形状的横截面围绕所述纵向轴线沿着所述纵向轴线不同地转动,以便提供所述子叶片(108)沿其纵向轴线的扭曲。

14. 一种用于组装用于风力涡轮机的转子的叶片的方法,所述方法在所述风力涡轮机的位置处进行,并且包括:

将多个连接器(110)运送(702)到所述位置,每个连接器(110)包括多个板状结构(126),每个板状结构具有贯通孔(132),其中所述多个板状结构(126)彼此连接;

运送(702)具有翼型形状的横截面的多个长形子叶片(108);

使每个子叶片(108)插入(704)穿过每个连接器(110)的贯通孔(132),其中所述贯通孔(132)在所述连接器(110)中被不同地成角度,以便控制所述子叶片(108)的翼型形状的横截面沿着所述子叶片(108)的纵向方向的扭曲。

用于风力涡轮机的转子叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及一种转子叶片，该转子叶片可用于风力涡轮机。

[0002] 发明背景

[0003] 在全世界对可再生能源技术的兴趣日益增长。例如，气候变化关注正在将能源生产推向可再生能源技术。风力因此是重要的能源，并且通过风力发电每年产生的电力的量正在快速增长。

[0004] 风力发电是将风能转化为更有用的形式，例如电力。在这方面使用的是风力涡轮机，风力涡轮机是将来自风的动能转化成电力的装置。风力涡轮机包括具有中心毂的转子，一个或多个叶片附接到该中心毂。转子布置成当叶片由于吹来的风而经受通过风力涡轮机的大量的空气时而旋转。因此，转子的旋转产生机械能，该机械能可以在风力涡轮机中转化为电力。

[0005] 存在两种主要类型的风力涡轮机，水平轴风力涡轮机(HAWT)和竖直轴风力涡轮机(VAWT)，在水平轴风力涡轮机中叶片围绕水平轴线旋转，在竖直轴风力涡轮机中叶片围绕竖直轴线旋转。用于大规模电力生产的最常见类型的风力涡轮机是HAWT，并且下面的讨论主要针对HAWT。

[0006] 叶片形成有翼型形状的(airfoil-shaped)横截面。这意味着叶片形成为使得在叶片的旋转方向上的前侧的表面导致通过该表面的空气比通过后侧的表面的空气占据更长的路径。因此，在前侧处越过表面的空气将比在后侧处越过表面的空气行进得更快。所以，压力差形成，导致在叶片上的力。该力引起围绕转子轴线的转矩，该转矩使转子旋转。

[0007] 在移动的叶片和空气之间的相对流速，包括速度和方向，被称为表观流速(apparent flow velocity)。当空气经过翼型形状的叶片的表面时，空气在该表面上施加力，该力取决于表观流速和翼型的形状。升力是垂直于迎面而来的表观流动方向的力的分量。它与阻力相反，阻力是平行于表观流动方向的力的分量。与升力相反，阻力倾向抵抗叶片的运动，并且可以通过数学分析表明，为了优化涡轮机的功率效率，叶片应当被设计成使升力和阻力之间的比率最大化。

[0008] 风力涡轮机的电力生产能力主要受叶片长度的影响。由风力涡轮机产生的功率与由叶片扫过的面积成比例，扫过的面积与叶片的长度的平方成比例。因此，叶片的长度增加使风力涡轮机的电力生产能够增加。

[0009] 然而，还需要在考虑到在风力涡轮机的操作期间由叶片受到的载荷的情况下设计叶片。空气动力载荷通过空气的表观流速形成。空气动力载荷在叶片上引起弯矩，最接近毂处弯矩最大。虽然空气动力载荷可以由于风速而变化，但是施加在叶片上的空气动力载荷也与叶片的长度的平方成比例。

[0010] 由于叶片的质量，重力载荷也施加到叶片，并且当叶片旋转完整的循环时，叶片将经历疲劳循环。重力荷载与叶片长度的立方成比例。因此，尽管对于小尺寸叶片来说空气动力载荷是主导的，但是当叶片的长度增加时，重力载荷将成为主导。

[0011] 因此，当增加叶片的长度以便增加风力涡轮机的电力生产能力时，需要在密切关

注施加在叶片上的重力载荷情况下来设计叶片。否则,存在因叶片的大质量而存在疲劳失效的风险。此外,长叶片将导致关于叶片的变形、裂纹和扭曲的问题。因此,当叶片的长度增加,叶片的设计变得困难。

[0012] 叶片的质量和相关的重力载荷以及空气动力学载荷可能迫使叶片形状的设计成为强度和空气动力学之间的折衷。特别是靠近毂处,叶片可能需要具有被优化为提供强度而不是翼型特性的设计,这意味着叶片的空气动力特性将不是最佳的。

[0013] 此外,当要安装风力涡轮机时,风力涡轮机部件需要被运输到风力涡轮机的位置。风力涡轮机由非常大的部件组成,例如长叶片,这使得将部件运输到现场成为一项艰巨的任务。例如,风力涡轮机部件可能比通常允许的车辆长度长得多,这意味着在陆地上需要使用专用车辆运输部件。另外,风力涡轮机部件的质量还可能设定特殊要求以便允许将部件运输到现场。总之,与长叶片的运输相关的问题将限制经济上可行的尺寸,至少对于基于陆地的风力涡轮机而言。而且,由于部件的质量和长度,在现场安装部件是麻烦的。

[0014] 此外,叶片制作的成本随着叶片的质量而增加。由于叶片的质量与叶片的长度的立方成比例,因此制造叶片的成本随着叶片的长度比风力涡轮机的电力生产能力更快地增加。

[0015] 最后,大质量的叶片可能导致关于风力涡轮机的塔架和基础的问题,因为大的载荷通过叶片的质量施加在风力涡轮机的这些部件上。而且,叶片的增加的质量通过增加的旋转惯性而导致转子毂上的载荷增加。

[0016] 从上文清楚的是,风力涡轮机的叶片的任何改变,使得叶片的质量减小将显著地改善叶片设计中面临的问题。

[0017] 在US 7,517,198中,公开了轻质风力涡轮机叶片。涡轮叶片包括轻质复合支撑桁架结构。支撑桁架结构由形成叶片的基本翼型形状的蒙皮的组件覆盖。一系列横向间隔开的肋形成叶片的脊并界定总体的翼型形状。然而,叶片需要变薄以便保持空气动力载荷降低。这意味着难以获得强健的结构。因此,最靠近毂的肋具有圆形形状,该圆形形状为结构提供强度而不是良好的空气动力学特性。

[0018] 在EP 1 887 219中,公开了一种特殊的叶片结构。叶片结构利用了这样的事实,即叶片的转动惯量 (moment of inertia) 可以通过设计叶片的轮廓截面来增加截面的表面和截面到中线的距离而增加。此外,结构中的截面的材料支撑的应力与转动惯量成反比,由此转动惯量的增加减小了材料的应力。因此,通过将叶片分成子叶片并将子叶片隔开,可以增加转动惯量而不增加材料的重量。然而,为了实现更大的转动惯量,子叶片需要牢固地结合。因此,会合点(links) 沿着子叶片的长度间隔开。虽然该结构允许结构中的截面的材料所支撑的应力减小,但是叶片的重量原则上不减小。因此,仍然需要减小叶片的重量。此外,子叶片被施加弯矩,这意味着最靠近毂的子叶片需要被设计成考虑为子叶片提供强度而不是空气动力学特性。

[0019] US 1,820,529公开了一种螺旋桨叶片,其设置有在顶点处合并的多个翼板。每个翼型向外朝向支撑端倾斜,在支撑端处每个翼型刚性地固定到共同的叶片轴。多个支架定位成被夹持在该多个翼型之间,大体上平行于叶片轴线。此外,倾斜连接结构刚性地固定成沿着其长度相对于给定叶片的其它叶片交叉支撑一个翼型。

[0020] 发明概述

[0021] 本发明的目的是提供一种用于风力涡轮机的转子的叶片的设计，其允许制造长且强健同时轻的转子叶片。本发明的另一个目的是提供一种轻量化叶片，同时大体上不影响风力涡轮机的效率。

[0022] 本发明的这些目的和其它目的通过如独立权利要求中限定的本发明被至少部分地满足。优选实施方案在从属权利要求中阐述。

[0023] 根据本发明的第一方面，提供了一种用于风力涡轮机的转子的叶片，所述叶片包括：桁架状三维结构，其具有形成桁架状结构的支柱构件，其中桁架状结构中的多个支柱构件具有翼型形状的横截面。

[0024] 如本文所使用的，“桁架状结构”应当被解释为构件的三维框架。因此，框架构成形成叶片的整体形状的三维结构。桁架是由在接头处连接以形成三角形单元的直构件(支柱)形成的结构。该结构应具有足够的构件以使其相对于作用在接头处的力是稳定和刚性的。此外，构件应当是绕着接头自由旋转的。在桁架中，力矩(扭矩)不能在桁架内传递，并且因此构件仅受到轴向力(拉伸力和压缩力)。在本申请的上下文中，“桁架状结构”应当被解释为桁架，但不一定具有不能传递任何力矩的接头。例如，至少三个构件可以在接头处连接，但并非所有构件都需要正好在单个点处连接。而是，构件中的一个或两个可以靠近接头，而不是在接头处连接所有构件的正好单个位置中被连接。二维桁架是其中所有构件和接头处在二维平面内的结构，而三维桁架具有延伸成三维的构件和接头。事实上，三维桁架是四面体单元的联合，使得对于刚性构件而言，其形成抵抗在任何方向上作用在接头处的力的刚性构造。这不是二维桁架的情况。因此，“桁架状三维结构”应被解释为包括四面体单元的“桁架状结构”。该结构中的单独构件可以是多个，例如两个或更多个四面体单元的一部分。

[0025] 本发明的一个见解是，用于风力涡轮机的转子的叶片可以由桁架状结构形成。由于桁架状结构，支柱构件将通常仅被施加拉伸力或压缩力。因此，桁架状结构可以形成强健且稳定的结构，然而桁架状结构的单独支柱构件可以相对薄且重量轻。因此，通过本发明，可以形成用于风力涡轮机的转子的叶片，其比具有整体形状的叶片长得多，更强健并且更轻。

[0026] 根据本发明的叶片可以形成为悬臂结构。因此，叶片被布置成仅锚定在最靠近风力涡轮机的毂的根部部分处。因此，叶片将需要承受施加在悬臂结构上的力。由于叶片的桁架状结构，提供了强健和稳定的结构。

[0027] 此外，根据本发明的桁架状结构设置有多个支柱构件，该多个支柱构件具有翼型形状的横截面。这意味着作为桁架状结构的一部分的支柱构件被成形为以便当风通过叶片时在叶片上引起升力。因此，桁架状结构不仅提供了轻且稳定的叶片结构，而且还为叶片提供了用于当吹来的风施加到叶片时使叶片旋转的特性。

[0028] 具有翼型形状的横截面的支柱构件由桁架状结构支撑。因此，支柱构件的设计不需要特别地受限于支柱构件具有承受施加在叶片上的空气动力载荷和重力载荷的刚度的要求。这意味着支柱构件的形状可以被优化成适合空气动力特性，甚至对最接近转子的毂的支柱构件的部分而言。

[0029] 具有翼型形状的横截面的多个支柱构件可以布置成使得支柱构件的翼型形状相对于叶片的横截面方向大体上类似地成角度。这意味着多个支柱构件的翼型形状将协作，使得大的共同升力可以由作用在叶片上的风产生。此外，叶片可以相对于风向转动，使得支

柱构件的翼型形状以相对于风向的共同攻角布置。因此,通过控制叶片相对风向的关系,可以容易地控制和优化由多个支柱构件共同产生的升力。然而应当认识到,经过一个支柱构件的空气将影响支柱构件周围的空气流。因此,如果支柱构件布置成彼此紧密相关,则相邻支柱构件的翼型形状的攻角可能需要略微不同,以便考虑支柱构件对空气流的影响,以及优化由多个支柱构件产生的共同升力。

[0030] 桁架状结构意味着叶片的形状从空气动力学的角度看不是完全优化的。由于该结构包括多个构件,所以经过多个构件的空气将有助于增加作用在叶片上的阻力。然而,叶片的升阻比仍然可以相对较好,并且与具有整体形状的叶片相比无实质不同。因此,虽然叶片的效率可能不如具有整体形状的等长叶片那样好,但桁架状结构的轻量化可允许构造尺寸大得多的风力涡轮机,以便提供大的电力生产能力的风力涡轮机。此外,轻桁架状结构允许在风力涡轮机的制造中使用相对少量的材料,其中由于叶片的较低的重量,不仅叶片而且风力涡轮机的塔架和基座可以需要较少的材料。因此,风力涡轮机的材料成本将降低。

[0031] 在离岸风力涡轮机中使用包括桁架状结构的叶片可能是特别有利的,因为使用船舶将风力涡轮机的部件运输到离岸地点可能相对容易。因此,由于使用轻量化叶片,离岸风力涡轮机的尺寸可以增加。然而,包括桁架状结构的叶片也可有利地用于陆基风力涡轮机中,其中叶片的轻量化可便于运输并且还允许在难以接近的地点安装风力涡轮机。

[0032] 由于叶片的大的抗弯刚度,叶片的桁架状结构可以提供叶片的尖端的相对小的挠曲。在强风中,尖端的挠曲可能变得非常大,使得当旋转时叶片可能撞击到塔架。因此,通过提供具有大的抗弯刚度的叶片,风力涡轮机能够在强风中操作,增加风力涡轮机运行的时间百分比,并且因此提高风力涡轮机的总体效率。

[0033] 包括桁架状结构的叶片可以被布置成与现有HAWT设计兼容,并且特别适合现有HAWT的毂。这意味着叶片可以与现有的HAWT一起使用,并且为了利用根据本发明的叶片可以不必安装完全新的风力涡轮机。

[0034] 此外,应当认识到,根据本发明的叶片还可以与VAWT一起使用,为VAWT的叶片提供桁架状结构以便为VAWT提供轻量化叶片。

[0035] 叶片可以以部件运送到要安装风力涡轮机的位置。例如,叶片可以作为桁架状结构的分离的单独构件来运送。可选地,叶片可以作为桁架状结构的组装的构件的节段来运送。应当认识到,叶片可以以用于运输的多种不同方式来分开,以便适合运输方法以及适合在现场可能是适当的安装工作量。

[0036] 此外,根据本发明的叶片不需要完全基于均匀的桁架状结构。例如,叶片尖端上的重力载荷和更接近毂的不一样大。这意味着桁架状结构可以不需要被设计在叶片的尖端处以承受同样大的载荷。因此,叶片尖端处的桁架状结构可包括比靠近毂的桁架状结构更少的构件。应当认识到,由于其它原因桁架状结构也可以在叶片的不同部分之间变化。

[0037] 根据本发明的第二方面,提供了一种用于风力涡轮机的转子的叶片的节段,所述节段包括:第一连接器和第二连接器,每个连接器在叶片的横截面方向上延伸;第一纵向支柱构件和第二纵向支柱构件,每个支柱构件大体上沿叶片的纵向方向延伸并且连接到第一连接器和第二连接器;以及斜支柱构件,其从第一纵向支柱构件和第一连接器之间的连接点延伸到第二纵向支柱构件和第二连接器之间的连接点;其中至少纵向支柱构件或斜支柱构件具有翼型形状的横截面。

[0038] 根据本发明的第二方面的叶片的节段可以适合于运输到待安装风力涡轮机的场所。因此，数个这样的节段可以在现场连接以用于形成整个叶片。这些节段可以通过将第一节段的连接器附接到第二节段的连接器来连接。

[0039] 这些节段的尺寸可以逐渐减小，使得叶片可以形成为具有尖端部分，该尖端部分具有比最靠近毂的根部更小的横截面。因此，该节段的第一连接器可以大于第二连接器，以便提供朝向尖端逐渐变窄的叶片。

[0040] 此外，这些节段的桁架状结构对于不同的节段而言不需要是相同的。例如，靠近尖端的节段的桁架状结构可以包括比更靠近毂的节段的桁架状结构更少的构件，因为靠近尖端的节段被施加较小的重力载荷。

[0041] 斜支柱构件、纵向支柱构件和连接器通过它们在节段中被连接的方式而一起形成三角形形状。这意味着该节段提供了桁架状结构，并且因此将为叶片提供强健和稳定的结构，如上面关于本发明的第一方面所讨论的。节段可以设置有多个斜支柱构件，该多个斜支柱构件从纵向支柱构件和第一连接器之间的连接点延伸到另一个纵向支柱构件和第二连接器之间的连接点。斜支柱构件的数量可以以数种方式变化，以便形成不同类型的桁架状结构。与桁架状结构中的纵向支柱构件对相关联的斜支柱构件的数量也可在桁架状结构中变化。斜支柱构件可以在连接点处附接到连接器。可选地，斜支柱构件可在连接点处附接到纵向支柱构件。作为另一可选方案，斜支柱构件、纵向支柱构件和连接器可以通过连接点处的销联接(pin joint)连接，以形成真正的桁架结构。

[0042] 斜支柱构件可以附接在纵向支柱构件和连接器之间的实际连接点中。然而，应当认识到，斜支柱构件可以可选地在连接点附近附接到连接器或纵向支柱构件。因此，斜支柱构件、纵向支柱构件和连接器可以形成接近三角形的形状。这可以是足够的，以便形成为叶片提供强健且稳定的结构的桁架状结构。

[0043] 第一和第二纵向支柱构件可具有翼型形状的横截面。由于纵向支柱构件在叶片的纵向方向上延伸，所以纵向支柱构件的翼型形状的横截面将用于当叶片经受风时，在叶片的旋转方向上产生升力。

[0044] 斜支柱构件可以可选地或另外地具有翼型形状的横截面。斜支柱构件在叶片的纵向方向上延伸，即使不平行于纵向方向。这意味着斜支柱构件的翼型形状的横截面可以用于在旋转方向上产生升力。此外，斜支柱构件的翼型形状的横截面可有利于避免在斜支柱构件中产生颤动或振动。

[0045] 具有翼型形状的横截面的支柱构件可以布置成具有相对大的尺寸的横截面，以便增加经受吹来的风的表面并且提供大的升力。支柱构件的厚度应足以对叶片的结构提供充分的支撑。然而，为了使支柱构件在受到吹来的风时提供期望的升力，支柱构件的横截面尺寸可能需要增大。因此，这样的支柱构件可以被设计成具有期望的横截面，以便当受到吹来的风时提供期望的空气动力学特性。在一个实施方案中，支柱构件可以是至少部分中空的，使得从空气动力学角度来看可以实现支柱构件的期望的外部尺寸，同时用于制造支柱构件的材料的量被抑制。

[0046] 根据实施方案，提供了三个纵向支柱构件，其具有适合于在经受吹来的风时产生期望的升力的翼型形状的横截面。因此，纵向支柱构件的横截面尺寸相对较大。在这种情况下，纵向支柱构件可以形成子叶片，该子叶片在受到吹来的风时主要负责驱动叶片的旋转。

[0047] 根据本发明的第三方面，提供了一种用于风力涡轮机的转子的叶片的子叶片，其中子叶片是长形的并且具有翼型形状的横截面，该长形子叶片的翼型形状的横截面的比例(proportions)在该长形的子叶片的大体上整个长度上是恒定的，其中该子叶片被制造为使围绕子叶片的纵向轴线的该翼型形状的横截面的旋转角度是恒定的，并且该子叶片构造成能够使翼型形状的横截面围绕纵向轴线沿纵向轴线不同地转动，以便提供子叶片沿其纵向轴线的扭曲。

[0048] 根据本发明的子叶片适合于在根据本发明的第一方面的风力涡轮机的转子的叶片中使用。子叶片可以作为分离的部件运输到风力涡轮机将要安装的位置。

[0049] 子叶片可以设置有沿着子叶片的大体上整个长度的恒定比例的翼型形状的横截面。子叶片设计不需要严格地适应根部部分处的叶片强度的要求，使得即使在根部部分处的子叶片设计可以设置有翼型形状的横截面。当子叶片由根据本发明的第一方面的叶片的部分制成时，叶片的桁架状结构可以有助于叶片的强度，使得子叶片设计可以主要针对实现子叶片的良好的空气动力学特性。

[0050] 子叶片可以被制造为直的细长元件，即，围绕子叶片的纵向轴线的翼型形状的横截面的旋转角在子叶片的整个长度上是恒定的。这可以有助于子叶片的制造。

[0051] 由于叶片的尖端比叶片的根部更快地移动穿过空气，所以在叶片的尖端和叶片的根部之间的视风角度不同。因此，在安装的风力涡轮机时，可能希望子叶片扭曲，即，围绕子叶片的纵向轴线的翼型形状的横截面的旋转角度沿子叶片的长度不同，使得子叶片相对于视风角的攻角沿子叶片的纵向轴线是恒定的。然而，子叶片可以适合于成为叶片结构的一部分。因此，在叶片组装期间子叶片的扭曲可以通过迫使叶片上的扭曲来实现。例如，叶片的连接器可以布置成控制子叶片的翼型形状的横截面的旋转角度，使得当子叶片安装到连接器时实现子叶片的扭曲。

[0052] 根据本发明的第四方面，提供了一种连接器，其用于连接风力涡轮机的转子的叶片的子叶片，所述连接器包括：多个板状结构，每个板状结构具有用于接纳子叶片的贯通孔；其中该多个板状结构彼此连接以用于连接叶片的子叶片。

[0053] 有利的是，板状结构具有尽可能小的表面。这是因为安全原因、降低质量、易于运输和空气动力效率，并且结构越大，这变得越重要。通过使连接器的形状接近由连接到子叶片的三个支柱形成的三角形，可以使板状表面最小化。

[0054] 该连接器适合在根据本发明的第一方面的叶片中使用。叶片可以包括多个连接器，该多个连接器可以安装在沿着叶片的长度的不同位置处。连接器可以单独制造并且被运送到风力涡轮机将被安装的位置，以用于在现场安装叶片。

[0055] 连接器可以包括用于控制子叶片相对于连接器的位置的贯通孔。根据实施方案，贯通孔在板状结构中成角度，以便控制围绕子叶片的纵向轴线的翼型形状的横截面的旋转角度。因此，一系列连接器可以布置成沿着叶片的长度设置，以用于控制或引起子叶片的扭曲。

[0056] 连接器的板状结构可以由内部部分和外部部分构成，使得一旦内部部分相对于子叶片正确定位，则外部部分可以附接到内部部分。这意味着在安装叶片期间，子叶片可能不需要被引导穿过连接器。而是，当连接器处于其围绕子叶片的适当位置时，可以组装连接器的板状结构。

[0057] 由于连接器具有围绕子叶片的板状结构,这些结构彼此连接,连接器可以形成为在它们之间具有结合部分的多个板,并且连接器可以具有在结合部分之间的孔。这意味着连接器可以使用少量的材料制造。

[0058] 连接器还可以用作小翼。这意味着连接器可以用于减小沿着叶片的纵向方向的气流。因此,可以减少在叶片尖端上方的空气流,这可以防止叶片在叶片尖端处的效率损失。

[0059] 根据本发明的第五方面,提供了一种用于组装风力涡轮机的转子的叶片的方法,所述方法在风力涡轮机的位置处进行,并且包括:将多个连接器运送到该位置,每个连接器包括多个板状结构,每个板状结构具有贯通孔,其中该多个板状结构彼此连接;运送具有翼型形状的横截面的多个长形子叶片;使每个子叶片插入穿过每个连接器的贯通孔,其中贯通孔在连接器中不同地成角度,以便控制子叶片的翼型形状的横截面沿子叶片的纵向方向的扭曲。

[0060] 根据该方法,通过提供可以呈现叶片的空气动力特性的子叶片和连接子叶片以形成共同叶片的连接器,叶片可以被组装。该方法特别适合于在将要安装风力涡轮机的场所组装叶片。因此,叶片的部件可以被单独地运输到现场。

[0061] 该方法还可以包括附接斜支柱构件以从第一子叶片和第一连接器之间的连接点延伸到第二子叶片和第二连接器之间的连接点。这意味着桁架状结构可以通过子叶片、连接器和斜支柱构件形成,以形成强健的叶片。斜支柱构件还可以被单独地运输到现场并且可以在现场安装在叶片中。

[0062] 根据本发明的第一方面的实施方案,桁架状结构包括大体上沿着叶片的纵向方向延伸的多个纵向支柱构件,其中纵向支柱构件具有翼型形状的横截面。由于纵向支柱构件在叶片的纵向方向上延伸,所以当叶片受到吹来的风时,纵向支柱构件的翼型形状的横截面将用于在叶片的旋转方向上产生升力。

[0063] 根据另一个实施方案,桁架状结构还包括至少一个连接器,其中,该至少一个连接器布置成在叶片的横截面方向上延伸,并且连接到大体上沿叶片的纵向方向延伸的多个纵向支柱构件。连接器可以使纵向支柱构件结合到彼此。连接器还可以布置成控制纵向支柱构件相对于彼此的定位以及纵向支柱构件的翼型形状横截面在叶片中的定向,以便确保叶片表现出良好的空气动力特性。

[0064] 根据另一个实施方案,桁架状结构还包括多个斜支柱构件,其中斜支柱构件从第一纵向支柱构件和第一连接器之间的连接点延伸到第二纵向支柱构件和第二连接器之间的连接点。因此,斜支柱构件、纵向支柱构件和连接器可以通过它们被连接的方式而一起形成三角形形状。这意味着斜支柱构件、纵向支柱构件和连接器可以形成一系列三角形,以便实现桁架状结构。三角形一起形成四面体单元的联合的结构。

[0065] 根据另一个实施方案,该至少一个连接器包括板状结构,该板状结构具有用于接纳纵向支柱构件的贯通孔。贯通孔因此可以用于控制纵向支柱构件在叶片中的定位。

[0066] 根据实施方案,贯通孔在板状结构中成角度,以便控制纵向支柱构件沿叶片的纵向方向的扭曲。贯通孔的定向或角度可以控制纵向支柱构件相对于连接器的定向。一系列连接器可以具有不同角度的贯通孔,使得当纵向支柱构件布置成延伸穿过该一系列连接器时,可以实现纵向支柱构件的扭曲。

[0067] 根据实施方案,纵向支柱构件的翼型形状的横截面的比例在纵向支柱构件的大体

上整个长度上是恒定的。特别地，纵向支柱构件可以在纵向支柱构件的根部部分处具有翼型形状的横截面，使得纵向支柱构件的根部部分可以有助于驱动叶片的旋转。

[0068] 根据实施方案，纵向支柱构件沿着叶片的整个纵向方向分开。这意味着围绕各个纵向支柱构件的流动将彼此干扰，并且因此负面影响叶片的空气动力学效率。特别地，纵向支柱构件可以在叶片的尖端处分开，在该尖端处大部分能量从风中提取。

[0069] 在实施方案中，纵向支柱构件可以分开最小距离，该最小距离与纵向支柱构件的弦长度相关。例如，最小距离可以被设定为因子乘以弦长，其中该因子可以是1。然而，在实施方案中，该因子可以至少是2，这可以提供纵向支柱构件的隔开，使得叶片具有良好的空气动力学效率。

[0070] 根据本发明的第六方面，提供了一种风力涡轮机，该风力涡轮机包括根据本发明的第一方面的至少一个叶片。因此，风力涡轮机可以利用一个或多个叶片的轻量化特性，使得可以形成大规模风力涡轮机，或者可以通过所需要的少量材料来限制风力涡轮机的制造成本。

附图说明

[0071] 现在将参考示出本发明的实施方案的附图更详细地描述本发明的这些方面和其它方面。

[0072] 图1是水平轴风力涡轮机的示意图。

[0073] 图2是根据本发明的实施方案的叶片的透视图。

[0074] 图3是图2中的叶片的子叶片的横截面的示意图。

[0075] 图4是图2中的叶片的连接器的透视图。

[0076] 图5是图2中的叶片的一部分的透视图。

[0077] 图6是用于图2中的叶片的根部连接器的示意图。

[0078] 图7是根据本发明的实施方案的用于组装叶片的方法的流程图。

[0079] 详细描述

[0080] 现在将在下文中参照附图更全面地描述本发明，在附图中示出了本发明的当前优选的实施方案。但是，本发明可以体现为许多不同的形式，并且不应被解释为限于本文阐述的实施方案；而是，提供这些实施方案是为了彻底性和完整性以及向技术人员充分传达本发明的范围。

[0081] 现在参考图1，示出了水平轴风力涡轮机100。风力涡轮机100包括转子102。转子102具有叶片104和中心毂106，叶片104附接到中心毂106，使得叶片104形成仅锚固到中心毂106的悬臂结构。转子102捕获由于吹来的风而经过转子102的大量空气的能量。能量借助于风而被捕获，迫使叶片104带动转子102旋转。转子102然后在风力涡轮机100中连接到发电机(未示出)，以用于将所捕获的能量转化成电力。

[0082] 转子102可以包括如图1中所示的三个叶片104。然而，转子102可以可选地设置有另一数量的叶片104，例如一个、两个或甚至多于三个的叶片104。

[0083] 风力涡轮机100可以被主动地控制，使得转子102被转动成面向风向。这意味着风力涡轮机100能够尽可能有效地捕获吹来的风中的能量。

[0084] 叶片104被成形为使得经过叶片104的空气将产生在叶片104的旋转方向上在叶片

104上的升力。在这方面,叶片104可以包括翼型形状,这意味着压力将在产生升力的翼型形状的不同侧上不同。叶片104可以布置成使得翼型形状相对于风向倾斜。倾斜角被称为攻角(angle of attack)。攻角可以影响叶片104的升力,并且在临界攻角时,最大升力通过翼型形状产生。

[0085] 现在参考图2,将进一步描述根据本发明的叶片104。叶片104包括具有形成多个三角形的构件的桁架状结构。桁架状结构意味着各个构件主要仅承受拉伸力和压缩力,这意味着构件可以制成薄的,同时保持强健的整体结构。

[0086] 桁架状结构可以包括在叶片104的纵向方向上延伸的纵向支柱构件108、在叶片104的横截面方向上延伸的连接器110以及在两个连接器110之间对角延伸穿过叶片104的斜支柱构件112。这些构件以形成三角形的方式彼此附接,该三角形由纵向支柱构件108、斜支柱构件112和连接器110界定。三角形一起形成四面体单元的联合的结构。

[0087] 由于桁架状结构的构件可以非常薄,因此叶片104的总重量低。轻量化叶片104具有许多优点。例如,需要少量的材料来制造叶片104,这使得叶片104的成本低。叶片104的轻量化意味着重力载荷被限制,这也限制了由于叶片104的相关疲劳引起的问题。

[0088] 此外,桁架状结构提供了叶片104的大的抗弯刚度。因此,因叶片104的变形和叶片104上的扭曲载荷导致的问题受到限制。此外,抗弯刚度可以限制叶片104的尖端的挠曲,使得风力涡轮机100能够在强风中操作,而没有叶片104的尖端撞击塔的风险。因此,可以增加风力涡轮机100可操作的时间的百分比,并且因此可以增加风力涡轮机100的总体效率。

[0089] 此外,轻量化叶片104限制作用在风力涡轮机100的其它结构(例如风力涡轮机100的塔架和基座)上的力。因此,塔架和基座也可以是相对轻的重量,因为它们仅需要支撑轻量化叶片104,从而降低风力涡轮机100的这些部分的制造成本。

[0090] 桁架状结构特别适合于以部件来运输,使得叶片104可以以部件运输到风力涡轮机100将在现场安装和组装的地点。此外,叶片104的轻量化使得叶片104或叶片104的部件更容易运输到要安装风力涡轮机100的位置,并且还有助于风力涡轮机100的安装。

[0091] 因此,叶片104的轻量化和抗弯刚度可以使得能够安装大型风力涡轮机100,否则由于风力涡轮机100的部件上的力,安装大型风力涡轮机可能是不可能的。这可以特别适合于离岸风力涡轮机100。离岸风力涡轮机100通常比基于陆地的风力涡轮机100具有更大的规模,因为使用船舶可以更容易地将大部件运输到离岸地点,并且风力涡轮机100可以被远距离地放置,使得由风力涡轮机100产生的噪声可以不影响或干扰人。

[0092] 叶片104的轻量化和以部件运输叶片104的能力还可便于叶片104的运输,使得风力涡轮机100可安装在原本可能难以接近的地点。

[0093] 然而,轻量化叶片104的实用性不限于大型风力涡轮机100。由于叶片104的制造成本可以相对较低,所以不管风力涡轮机100的尺寸如何,使用轻量化叶片104的风力涡轮机100制造和安装起来更便宜。

[0094] 桁架状结构意味着空气可以经过叶片104中的多个构件。经过多个构件的空气将促成增加叶片104上的阻力,降低捕获风能的效率。然而,如在下面的示例中进一步示出的,叶片104的升阻比仍然可以相对较好,并且与具有整体形状的叶片104实质上没有不同。此外,由于叶片104的桁架状结构可允许安装比其它可能的更大规模的风力涡轮机100,所以风力涡轮机100的电力生产能力仍可显著增加。

[0095] 桁架状结构的至少一些构件可具有翼型形状的横截面,以便产生升力。在一个实施方案中,如图2中所示,纵向支柱构件108可以布置成具有翼型形状的横截面,并且可以基于期望的空气动力学特性来设计和确定尺寸。因此,纵向支柱构件108可具有比所需要的尺寸大得多的尺寸,以便提供桁架状结构的足够的支撑。而是,纵向支柱构件108的尺寸可以设定成提供大的横截面,使得可以产生大的升力。因此,纵向支柱构件108可以形成子叶片。

[0096] 斜支柱构件112可以布置成主要在桁架状结构中提供支撑。斜支柱构件112因此可以布置成经受拉伸载荷和压缩载荷。斜支柱构件112可以被布置成实心部分,这意味着斜支柱构件112的横截面表面保持较小,以便限制由斜支柱构件112的存在所产生的阻力。

[0097] 斜支柱构件112还可具有翼型形状的横截面,以便进一步限制由斜支柱构件112产生的阻力。因此,斜支柱构件112还可以有助于由叶片104产生的升力。然而,斜支柱构件112在横截面尺寸上应当被限制,以便限制斜支柱构件112上的升力。如果升力变得太大,则存在斜支柱构件112将弯曲的风险。

[0098] 斜支柱构件112可以设置有流线型横截面。这意味着横截面具有对称形状,在面向风的前边缘处具有圆形形状并且在后边缘处具有尖形形状。斜支柱构件112还可以定向成使得横截面相对于风向的攻角为非零,这意味着产生升力。在斜支柱构件112上产生的升力可以用于保持斜支柱构件112处于拉伸状态。当叶片104经受吹来的风时,这可以用于防止斜支柱构件112中出现颤动或振动。

[0099] 应当认识到,斜支柱构件112的横截面的尺寸和形状以及攻角可以改变,以便找到关于结构的强度、叶片104的升阻比的效果和避免斜支柱构件112中的振动的最佳设计。

[0100] 斜支柱构件112还可以布置成扭曲的,即,围绕斜支柱构件112的纵向轴线的横截面的旋转角度沿斜支柱构件112的长度不同。斜支柱构件112被扭曲,以便适应于斜支柱构件112的更靠近叶片104的尖端的部分的速度比更靠近叶片104的根部的速度更快的事实。通过使斜支柱构件112扭曲,斜支柱构件112的攻角相对于视风角度可以沿斜支柱构件112的纵向轴线是恒定的。

[0101] 子叶片108可以布置成延伸穿过连接器110中的孔114。连接器110中的孔114的布置因此可以提供子叶片108彼此的相对位置。孔114因此可以构成子叶片108和连接器110之间的连接点。子叶片108可以附接到连接器110,以便固定子叶片108相对于连接器110的位置。

[0102] 斜支柱构件112可以布置成在第一子叶片和第一连接器之间的第一连接点和第二子叶片和第二连接器之间的第二连接点之间延伸。斜支柱构件112可以在连接点处附接到连接器110。可以例如是通过螺栓或焊接将斜支柱构件附接到连接点。该斜支柱构件112在连接点处布置在孔114附近,使得子叶片108和斜支柱构件112在彼此靠近的位置处附接到连接器110。这意味着桁架状结构的三角形形成在叶片104中。

[0103] 斜支柱构件112可选地在连接点处附接到子叶片108。斜支柱构件112还可以用销联接附接到子叶片108。在特定的实施方案中,连接器110可以在子叶片108之间延伸的部分中分开,其中连接器部件和斜支柱构件112在共同的销联接中附接到子叶片108,以便形成真正的桁架结构。

[0104] 斜支柱构件112在结构中的布置可以以多种方式变化。斜支柱构件112可以按照已知的桁架结构布置。

[0105] 可选地,如图2中所示,斜支柱构件112布置在两个相邻连接器110中的每一对连接点之间。这意味着存在一对斜支柱构件112与在两个连接器110之间延伸的每对纵向支柱构件108相关联。因此,一对斜支柱构件112中的一个斜支柱构件112将处于拉伸状态,而该对中的另一个斜支柱构件112被压缩。斜支柱构件112然后可以不被设定尺寸成完全承受压缩力。叶片104的总强度仍然可以是足够的,因为经受拉伸力的斜支柱构件112将保持叶片104的整体结构。斜支柱构件112的这种布置可以允许斜支柱构件112非常薄和/或连接器110在叶片104的纵向方向上布置在距离彼此大的距离处。

[0106] 在可选实施方案中,斜支柱构件112可以布置有翼型形状的横截面,并且可以基于期望的空气动力学特性来设计和确定尺寸。因此,斜支柱构件112可以被设计成当叶片104经受吹来的风时产生升力。在这方面,斜支柱构件112的横截面可以比提供桁架状结构的支撑所需要的横截面大得多,并且尺寸设定成向叶片104提供大的升力。在这种情况下,纵向支柱构件108可以主要提供对桁架状结构的支撑,或者可选地,纵向支柱构件108也可以被设定尺寸成实质上有助于叶片104的升力。在纵向支柱构件108主要为桁架状结构提供支撑的情况下,纵向支柱构件108受到拉伸力和压缩力两者。因此,纵向支柱构件108将需要被确定尺寸以便经受由这些力产生的变形。在一个实施方案中,桁架状结构可仅包括与每对纵向支柱构件108相关联的一个斜支柱构件112。这意味着相邻斜支柱构件112的翼型可以布置成距离彼此充分地分开,使得对翼型的气流的影响基本上不影响由相邻斜支柱构件112产生的升力。用斜支柱构件112的这种布置,相邻连接器110之间的距离可能需要相对较短,使得叶片104的总强度将是足够的。

[0107] 叶片104的桁架状结构在叶片104的整个长度上不需要相同。而是,桁架状结构的构造可以在叶片的不同部分之间变化。

[0108] 在一个实施方案中,桁架状结构可以根据不同的构造布置在叶片104的尖端部分和叶片104的根部中。施加在叶片104上的重力载荷比在叶片104的根部部分处大得多。因此,桁架状结构的构造可以考虑到这一点来设计。

[0109] 例如,叶片104可以设计成具有如图2中所示的桁架状结构,该桁架状结构具有与在两个连接器110之间延伸的每一对纵向支柱构件108相关联的一对斜支柱构件112。然而,在叶片104的尖端部分处,桁架状结构可以构造成包括与每一对纵向支柱构件108相关联的仅一个斜支柱构件112。这意味着由斜支柱构件112产生的阻力是有限的,因为斜支柱构件112的数量减少。此外,叶片104的速度在叶片104的尖端处最大,这意味着叶片104的尖端处的构件最多地促成阻力。因此,减少叶片104的尖端处的构件的数量可对叶片104的升阻比具有大的影响。叶片104的尖端部分可优选地仅包括被施加来自气动力的拉伸力的斜支柱构件112,使得可以避免斜支柱构件112的振动和颤动。

[0110] 根据另一个实施方案,叶片104的根部部分可以设计成具有桁架状结构的特殊构造,以便应对施加在叶片104的根部部分上的大的重力载荷。

[0111] 现在参考图3,图3示出了子叶片108的横截面,将进一步描述叶片104的子叶片108。子叶片108可以具有翼型形状的横截面,以便当受到吹来的风时产生升力。翼型形状包括前边缘116和后边缘118,前边缘116是具有最大曲率的在翼型前部的部位,后边缘118是具有最大曲率的在翼型后部的部位。弦线120由连接前边缘116和后边缘118的直线界定。子叶片108的攻角由弦线120相对于风向的角度界定。

[0112] 子叶片108可以布置成具有贯穿子叶片108的长度的横截面的恒定翼型形状。这意味着基于子叶片108的期望空气动力特性所选择的翼型形状可以在子叶片108的整个长度上或至少在子叶片108的大体上整个长度上使用。特别地,由于子叶片108是桁架状结构的一部分,所以子叶片108不需要被设计在最靠近毂106的根部部分处,以应对由于叶片重的重量而产生的载荷。子叶片108布置成在叶片104的尖端部分处比在根部部分处更薄。但是,子叶片108的翼型形状的横截面的比例可以是恒定的,以便沿着子叶片108的长度具有恒定的翼型形状。

[0113] 子叶片108可以布置成沿着子叶片108的长度具有不同的翼型形状。然而,由于子叶片108是桁架状结构的一部分,子叶片108在根部部分处的设计仍然可以基于提供期望的空气动力学特性。

[0114] 子叶片108可以是中空的,以便当要求小质量的时候提供大的表面。因此,子叶片108的表面可以由外壳体122形成。壳体122可以布置成非常薄,具有典型地几毫米的厚度。

[0115] 子叶片108还可以包括在壳体122内的支撑结构124。支撑结构124可以防止由于例如空气动力载荷而产生的薄壳体122的变形。例如,支撑结构124可以在壳体122中设置为一个或多个工字梁,具有支撑壳体122的相对侧的凸缘(也被称为盖)和连接盖的腹板。支撑结构124可以可选地设置为具有支撑壳体122的相对侧的盖的箱形梁和将盖的端部彼此连接的抗剪腹板。盖可以布置在壳体122中,以便尽可能远地隔开。

[0116] 子叶片108可以被制造为上部部分和下部部分,该上部部分和下部部分可以与布置在其间的支撑结构124夹在一起以形成子叶片108。

[0117] 子叶片108可以被扭曲,使得围绕子叶片的纵向轴线的翼型形状横截面的旋转角度沿着子叶片108的长度不同。子叶片108可以被扭曲,以便使子叶片108的空气动力学特性适应于在子叶片108的旋转期间子叶片108的尖端部分的速度远大于子叶片108的根部部分的速度的事实。通过使子叶片108扭曲,子叶片108相对于视风角的攻角可以沿着子叶片108的纵向轴线是恒定的。

[0118] 子叶片108可以在子叶片108的制造中被扭曲。然而,由于子叶片108相对于叶片104中的连接器110被布置,因此子叶片108到连接器110中的布置可用于提供子叶片108的扭曲。在这种情况下,子叶片108可以被制造为直的元件。例如,子叶片108可以由玻璃纤维制成,其中纤维的大部分沿着子叶片108的长度对齐。

[0119] 桁架状结构可以包括三个子叶片108,如图2中所示。然而,桁架状结构可以布置成包括四个或更多个子叶片108。子叶片108可以部分地阻挡用于另一个子叶片108的风。因此,尽管提供具有大量子叶片108的桁架状结构将是可能的,但是可能期望使子叶片108的数量保持相当低,例如3-5个。

[0120] 为了限制子叶片108与经过其它子叶片的风的干扰,子叶片108可以大体上彼此分离。根据一个实施方案,子叶片108被三倍的子叶片108的翼型形状的横截面的弦长度隔开。出于空气动力效率的原因,叶片应该以一些最小距离隔开。这在尖端附近特别重要,因为这是大部分能量从空气中提取的地方。最小距离可以与弦长相关,使得最小距离例如可以是两个弦长。使叶片在尖端处会合,例如当将结构形成为三角形塔架时,对于空气动力效率而言不是令人满意的,因为当该隔开距离低时,围绕各个翼型的流动将相互干扰。结果是与不违反最小距离标准的情况相比,这种结构的电力生产显著降低。

[0121] 现在参考图4,将进一步描述叶片104的连接器110。连接器110可以是相对薄的结构,其被布置成在叶片104的横截面中延伸。因此,连接器110的薄结构可以确保连接器110具有面向风向的小的表面,以便限制由连接器110引起的作用在叶片104上的阻力。连接器110还可以具有流线型形状,其中面向风向的表面是圆形的,使得进一步限制作用在叶片104上的阻力。

[0122] 连接器110在桁架状结构中将经受压缩力。因此,连接器110的结构需要足够厚和强健以承受因压缩力产生的弯曲。

[0123] 连接器110包括多个板状结构126。板状结构126提供纵向支柱构件108和斜支柱构件112之间的连接点。此外,连接器110包括在板状结构126之间延伸的结合部分128。在一个实施方案中,板状结构126和结合部分128形成为单个主体。然而,连接器110的不同部分可以彼此附接,以形成整体式主体。

[0124] 连接器110可以提供多个连接点。例如,在如图2中所示的桁架状结构中,连接器110具有布置在每个板状结构126的每一侧上的两个连接点。因此,连接器110形成叶片104的桁架状结构的一部分。

[0125] 由于连接器110被布置为在板状结构126之间具有结合部分128,所以可以在连接器110的结构中在结合部分128之间布置大的孔130。这意味着可以减少制造连接器110所需的材料量,并且从而减少连接器110的重量。此外,连接器110的总表面可以通过连接器110的结构中的孔的布置来限制,这可以限制由连接器110引起的作用在叶片104上的阻力。

[0126] 然而,应当认识到,连接器110可以可选地形成为在纵向支柱构件108和斜支柱构件112之间呈现多个连接点的单个板状结构。

[0127] 连接器110的板状结构126可以设置有用于接纳子叶片108的贯通孔132。贯通孔132因此可以在板状结构126中界定连接点,并且斜支柱构件112可以在贯通孔132附近附接到板状结构126。

[0128] 贯通孔132可以是翼型形状的,以适应子叶片108的形状。子叶片108因此可以布置在贯通孔132中,具有在子叶片108的横截面的外部形状和界定贯通孔132的板状结构126中的壁的形状之间的紧密配合。

[0129] 贯通孔132还可以在板状结构126中成角度,以便适应围绕子叶片108的纵向轴线的翼型形状的横截面的旋转角度。贯通孔132可以在叶片104中的不同连接器110中具有不同的角度,以便适应子叶片108的扭曲。如上所述,子叶片108可以被制造为直的元件。在这种情况下,贯通孔132的角度可以用于控制子叶片108的扭曲。

[0130] 根据实施方案,在叶片104的组装期间,板状结构126的外部部分134可以附接到板状结构126的内部部分136。外部部分134和内部部分136的分离由图4中的虚线138指示。外部部分134和内部部分136的壁可以各自部分地界定贯通孔132。这意味着,在叶片104的组装期间,板状结构126的内部部分136可以首先相对于子叶片108被布置。然后,当子叶片108相对于板状结构126适当地定位时,外部部分134可附接到内部部分136,使得外部部分134和内部部分136一起包围子叶片108的横截面。根据这种布置,子叶片108不需要被引导穿过贯通孔132以用于相对于连接器110安装子叶片108。

[0131] 叶片104可以包括多个连接器110。叶片104可以朝向尖端部分逐渐变窄。因此,连接器110的尺寸可以根据其在叶片104中的纵向位置而不同。具有大尺寸的连接器110还可

以比小尺寸连接器厚,以便支撑连接器110的较大结构和较大载荷。

[0132] 根据实施方案,连接器110可以在叶片104的纵向方向上相等地间隔开。然而,连接器110可以可选地被布置成与相邻连接器相距一定距离,使得到相邻连接器的距离和连接器110中的子叶片108之间的间距之间的比率是恒定的。这意味着连接器110之间的距离在叶片104的根部部分较大,在该根部部分处子叶片108之间的间距较大。根据这种布置,斜支柱构件112相对于子叶片108的角度在整个叶片104上是相等的。

[0133] 叶片104可以在风力涡轮机100待被安装的位置处组装。这意味着叶片104可以成件地运输到现场,这些件在现场组装以形成叶片104。可以考虑到使叶片104分开以用于运输的多种不同方式。

[0134] 例如,桁架状结构的每个单独的构件可以作为单独的部分来运输。因此,子叶片108、连接器110和斜支柱构件112可以各自单独地来运输。

[0135] 子叶片108可以作为直的元件来运送。在叶片104的组装期间,子叶片108可以被引导穿过连接器110,由此可以通过连接器110中的贯通孔132的布置来迫使子叶片108扭曲。

[0136] 子叶片108非常长,因为它们延伸穿过叶片104的整个长度。因此,为了便于叶片104的运输,子叶片108可以分成数个部分。在一个实施方案中,子叶片108形成为纵向支柱构件108,其各自在叶片104中的两个相邻连接器110之间延伸。因此,纵向支柱构件108可以在连接器110的连接点处附接到连接器110。连接器110不需要包括贯通孔132。而是,两个纵向支柱构件108附接到连接器110的每一侧。可选地,子叶片108可以在现场由数个部件组装,以有利于将子叶片108运输到现场。然后,子叶片108可以通过引导子叶片穿过贯通孔132而组装到连接器110。

[0137] 根据另一实施方案,叶片104的节段被预组装并以预组装状态来运输。然后,叶片104的部分可以在现场附接到彼此,以用于叶片104的最终组装。节段200可以如图5中所示来形成。节段200包括第一连接器110a和第二连接器110b,第一连接器110a和第二连接器110b是叶片104中的相邻连接器。节段200还包括在连接器110a、110b之间的纵向支柱构件108和斜支柱构件112。因此,纵向支柱构件108和斜支柱构件112在运输到现场之前安装到连接器110。在现场,节段200可以彼此附接,以用于叶片104的最终组装。

[0138] 节段200可以通过节段200的附接到彼此的连接器110而彼此附接。因此,所组装的叶片104的连接器110可以由彼此附接的两个节段200共同形成。例如,每个节段200可以提供在其中节段200彼此附接的连接器110的厚度的一半。

[0139] 现在参考图6,将描述根部连接器140。根部连接器140布置成安装在叶片104的根部部分处。根部连接器140包括毂连接部142,毂连接部142适合于附接到转子102的中心毂106。因此,毂连接部142可以被确定尺寸和形状,以适合中心毂106的特定尺寸。因此,根部连接器140可以确保叶片104可以安装到已经在使用中的风力涡轮机100。叶片104将至少不对中心毂106施加特定要求。

[0140] 轮毂连接部142可以包括板状结构,其提供适合中心毂106的周向形状。毂连接部142可以例如通过螺栓或焊接在板状结构的周边附接到中心毂106。板状结构可以包括中心孔,以便减少制造根部连接器140所需的材料量。

[0141] 根部连接器140还可以包括叶片连接部144。如上所述,叶片连接部144可以成形为连接器110。因此,最接近叶片104的根部部分的连接器110可以由根部连接器140的叶片连

接部144和最接近叶片104的根部部分的节段200的连接器110共同形成。可选地，子叶片108和最接近叶片104的根部部分的斜支柱构件112可直接附接到叶片连接部144。子叶片108的横截面在端部处可以是圆形的而不是翼型形状的，以便于附接到叶片连接部144。

[0142] 轮毂连接部142在叶片104的横截面中可具有比叶片连接部144小的尺寸。这意味着子叶片108可以在叶片104的根部部分处比中心轮毂106的尺寸原本所允许的更远地彼此隔开。根部连接器140因此可以包括将较小轮毂连接部142连接到较大叶片连接部144的结构。

[0143] 在一个实施方案中，根部连接器140包括用于将轮毂连接部142结合到叶片连接部144的桁架状结构。根部连接器140可包括纵向支柱构件146，纵向支柱构件146围绕叶片104的纵向轴线具有恒定角度而延伸。纵向支柱构件146从轮毂连接部142向叶片连接部144径向外延伸，以便适应叶片连接部144的较大尺寸。根部连接器140还可以包括斜支柱构件148，斜支柱构件148从第一纵向支柱构件146的连接点处的轮毂连接部142延伸到第二纵向支柱构件146的连接点处的叶片连接部144。

[0144] 纵向支柱构件146和/或斜支柱构件148可以具有翼型形状的横截面，以便在经受吹来的风时有助于叶片104的升力。

[0145] 在一个实施方案中，根部连接器140的叶片连接部144由纵向支柱构件146和斜支柱构件148形成。因此，纵向支柱构件146和斜支柱构件148可以直接附接到叶片104的最接近叶片104的根部部分的连接器110。

[0146] 根部连接器140可以以组装的状态运送到风力涡轮机100待被安装的位置。然而，根部连接器140可以可选地作为单独的部件被运送，这些单独的部件可以在现场组装并附接到叶片104的其它部件。

[0147] 现在将进一步描述叶片104的设计的示例，以便表明叶片104的实际实施的重量。示例性叶片包括60m长的子叶片，其被设计有由国家可再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory)定义的，具有沿长度可变化的弦的NREL S831翼型。弦变化是线性的，在根部连接器处为2m，在叶片的尖端处为0.75m。子叶片具有2mm的恒定的壳厚度。子叶片在壳体内部具有4mm厚的翼梁。子叶片由具有密度为 1870kg/m^3 ，杨氏模量为38GPa，泊松比为0.3，拉伸强度为1.8GPa的E-玻璃环氧树脂复合材料形成。

[0148] 叶片使用三个子叶片来设计，具有沿叶片的纵向方向间隔开的六个连接器。三个子叶片由3个弦长隔开。连接器被隔开，使得相邻连接器的距离和连接器110中的子叶片之间的间距的比率保持恒定并且设定为3。连接器在结合部分之间设置有孔。靠近叶片根部部分的两个连接器为3cm厚，并且其它连接器为2cm厚。连接器是中空的，壳体厚度为3mm。连接器也由如上定义的E-玻璃环氧复合材料形成。

[0149] 叶片还包括布置在子叶片和连接器之间的每对连接点之间的斜支柱构件。斜支柱构件设计成具有如由国家航空委员会所定义的对称的流线型形状NACA 0024。两个相邻连接器之间的每组斜支柱构件具有相同的弦长。靠近叶片根部部分的弦长较大。一组斜支柱构件的弦长是在靠近叶片的根部部分的前一节段处的子叶片的弦长的5%。因此，斜支柱构件的弦长将从大约0.10m变化到0.045m。斜支柱构件由密度为 1490kg/m^3 ，杨氏模量为176GPa，泊松比为0.3，拉伸强度为2.05GPa的碳纤维形成。

[0150] 对于上述示例，叶片的总重量变为大约3720.8kg。这可以与具有整体形状的60m长的叶片进行比较。例如，由丹麦科灵的LM Wind Power Blades生产的风力涡轮机叶片LM

61.5P具有61.5m的长度和19 100kg的重量。因此,根据本发明的叶片的重量可以小于常规叶片的20%。

[0151] 此外,根据上述示例的叶片可以提供大约100的升阻比,升阻比被测量为提升系数除以阻力系数。这意味着叶片的空气动力学特性与通常提供100-150的升阻比的具有整体形状的叶片没有实质不同。此外,叶片的效率不高度依赖于升阻比。而是,升阻比从150减小到100可能仅使叶片的总效率降低大约2%。

[0152] 现在参考图7,将描述用于组装叶片104的方法。方法700包括步骤702:将处于拆开状态的叶片104的部件运送到风力涡轮机100待被安装的位置。方法700还包括步骤704:在现场将叶片104的部件组装成完全组装的叶片104。通过将叶片104的部件安装到中心毂106(中心毂106可能已经或可以还未安装到风力涡轮机100的塔架),叶片104可以被组装到其完全组装的状态。可选地,一旦叶片104已完全组装,叶片104可附接到中心毂106。

[0153] 叶片104可以如上所述被不同地分开,并且因此可以以节段200来运送,这些节段200可以在现场处彼此附接。

[0154] 可选地,叶片104可作为与连接器110分离的子叶片108来运送。组装步骤704因此可以包括使每个子叶片108插入穿过每个连接器110的贯通孔132。贯通孔132然后可以在叶片104中的连接器110的纵向位置处配合子叶片108的横截面形状。贯通孔132还可以在连接器110中不同地成角度,以便控制沿着子叶片108的纵向方向的子叶片108的翼型形状的横截面的扭曲。

[0155] 本领域技术人员认识到本发明决不限于上述优选的实施方案。相反,在附随权利要求的保护范围内许多修改和变型是可能的。

[0156] 例如,具有桁架状结构的叶片可以用在竖直轴风力涡轮机(VAWT)中。然后,叶片的桁架状结构的外部形状可以模拟当前使用的VAWT叶片的形状。这意味着叶片可以用于替换已经存在的VAWT设备中的叶片。

[0157] 此外,叶片不需要通过桁架状结构整体地形成。例如,子叶片的尖部分可以延伸超过离毂最远的连接器。可选地或另外地,根部连接器可以形成为整体式主体。根部连接器被施加大的重力载荷,并且因此将根部连接器提供为整体式主体可能是有利的。此外,将根部连接器提供为整体式主体可以有助于将叶片附接到风力涡轮机的毂。

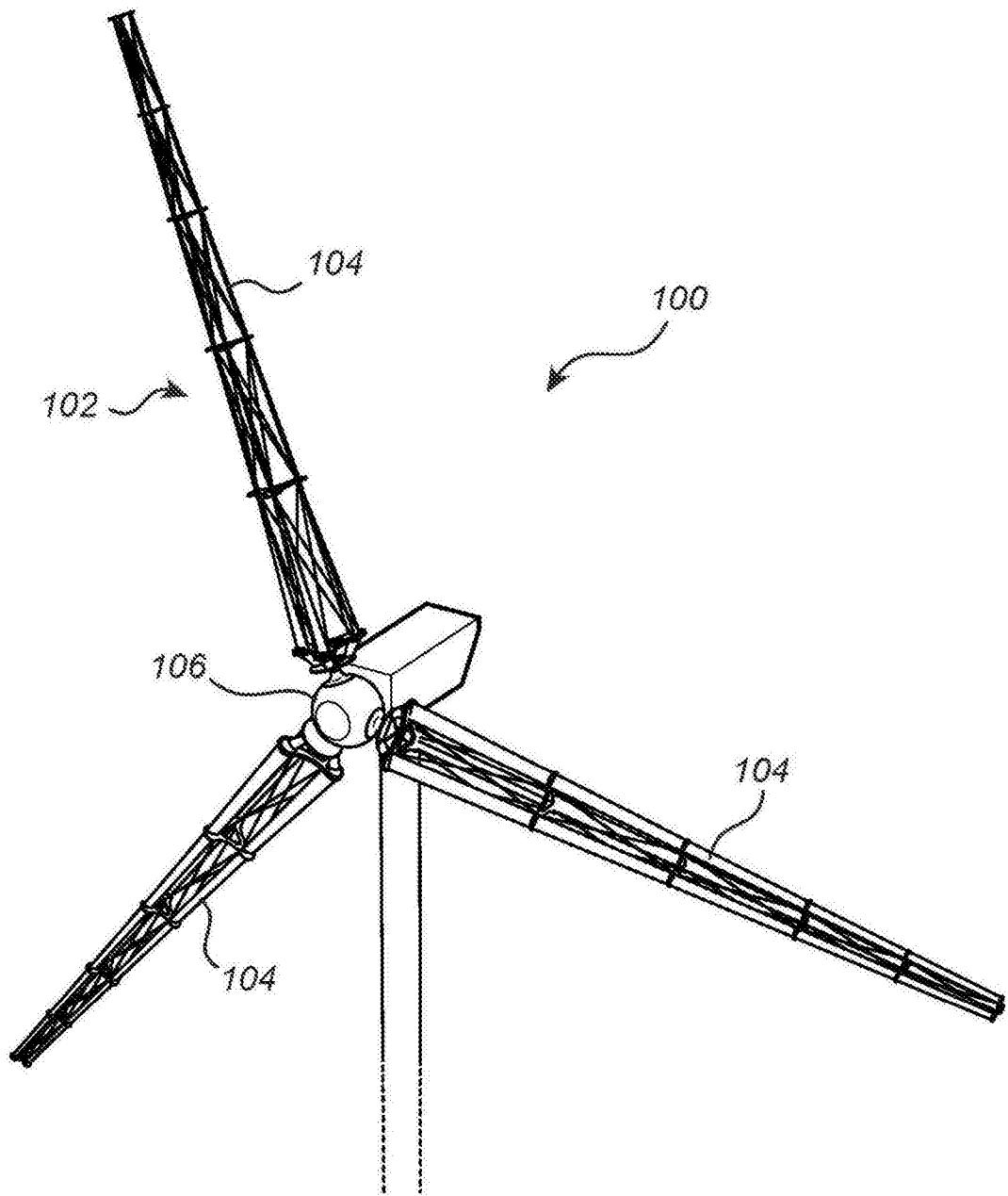


图1

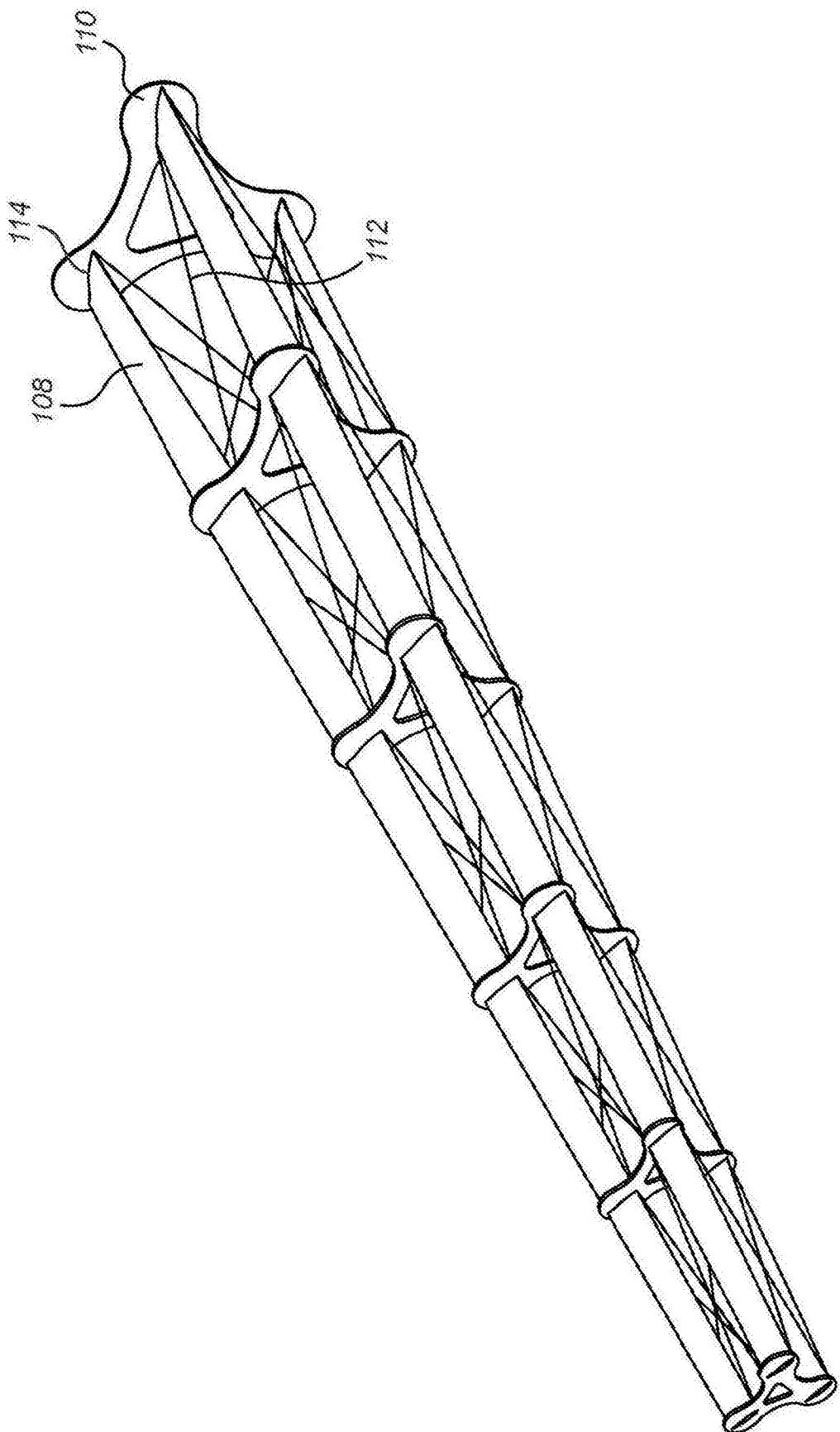


图2

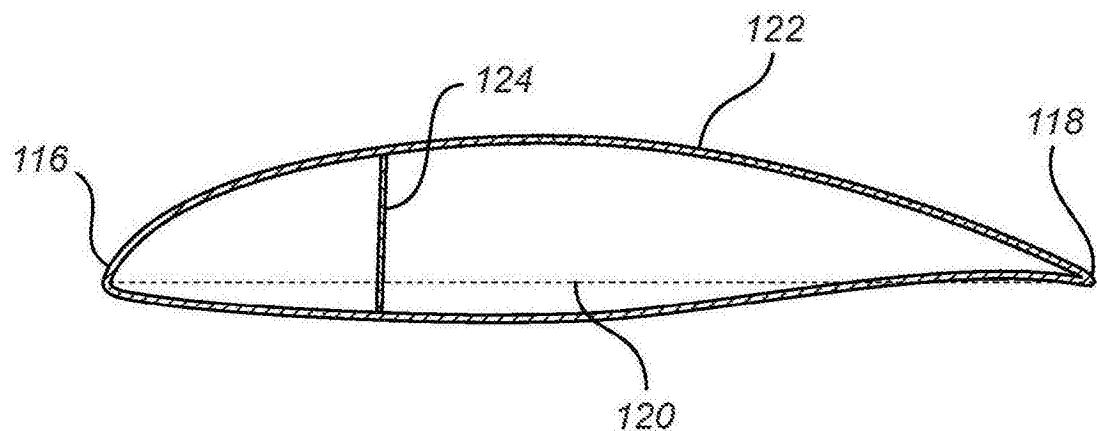


图3

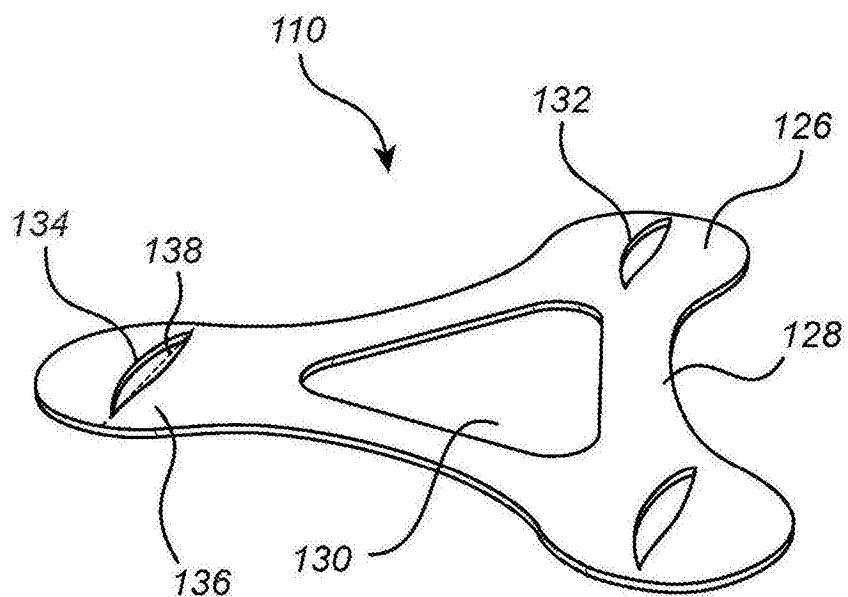


图4

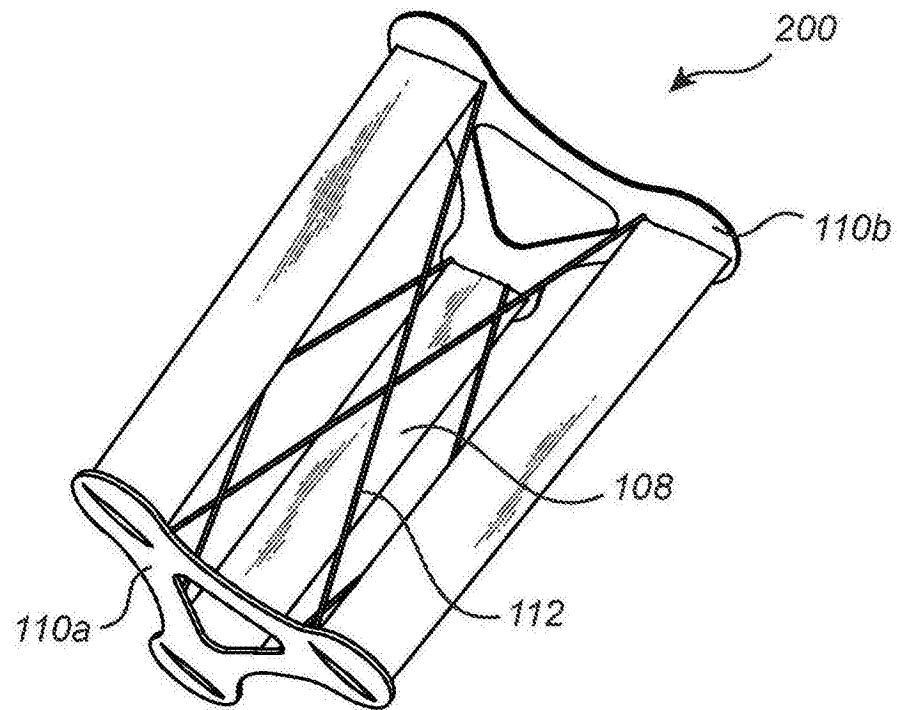


图5

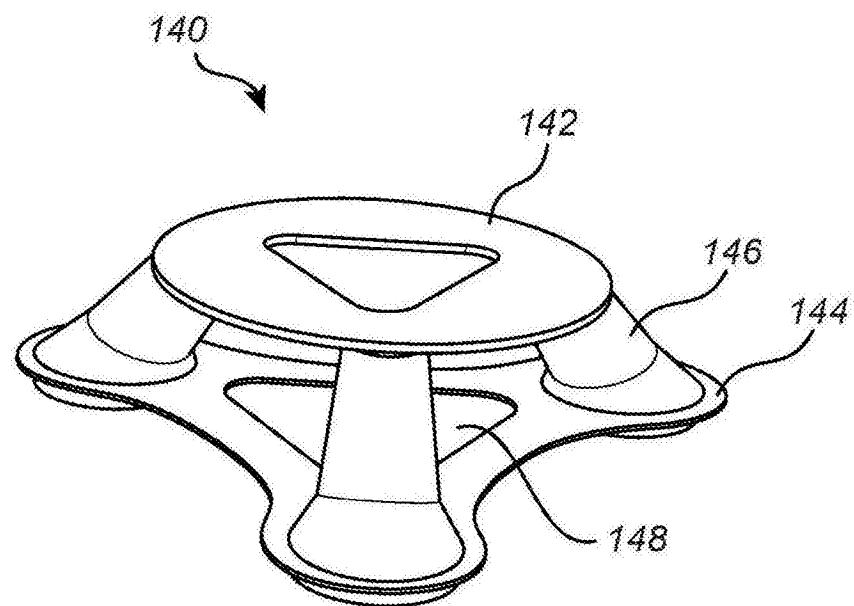


图6

700

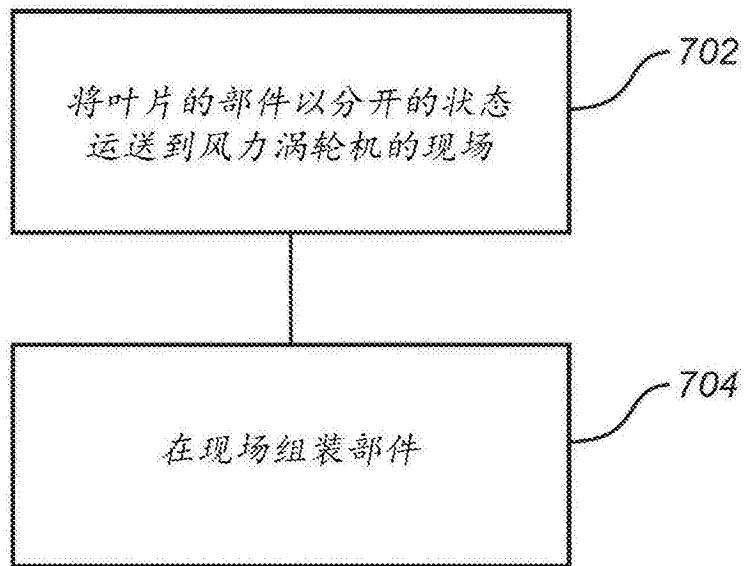


图7