



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101321949 B

(45) 授权公告日 2013.03.13

(21) 申请号 200680045596.0

(22) 申请日 2006.12.05

(30) 优先权数据

PA200501714 2005.12.05 DK

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008.06.04

(86) PCT申请的申请数据

PCT/DK2006/000689 2006.12.05

(87) PCT申请的公布数据

W02007/065434 EN 2007.06.14

(73) 专利权人 LM 玻璃纤维制品有限公司

地址 丹麦伦纳斯考

(72) 发明人 P·格拉鲍

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 温大鹏

(51) Int. Cl.

F03D 11/00 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2003/0099546 A1, 2003.05.29, 全文.

WO 00/15961 A1, 2000.03.23, 说明书第2页  
第15行至第8页最后1行、附图1-6.

同上.

WO 01/16482 A1, 2001.03.08, 说明书第2页  
第7行至第5页最后1行、附图1-3.

US 2800291 A, 1957.07.23, 全文.

DE 420325, 1925.10.19, 全文.

US 3578264 A, 1971.05.11, 全文.

JP 特开2005-256829 A, 2005.09.22, 全文.

WO 2005/035978 A1, 2005.04.21, 全文.

DE 4316712 A1, 1994.11.24, 全文.

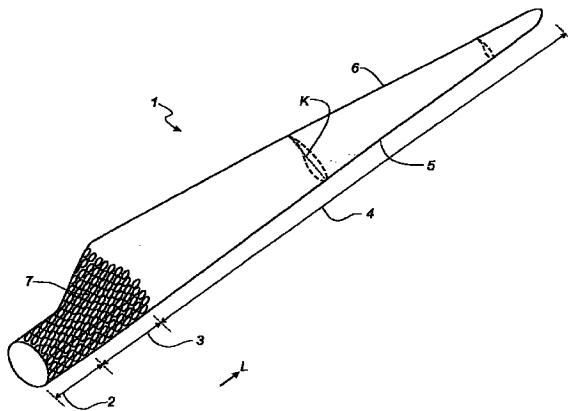
审查员 池建军

(54) 发明名称

用于风力涡轮机转子的叶片

(57) 摘要

一种用于具有大致水平的转子轴的风力涡轮机转子的叶片(1)，所述转子包括毂，在沿着纵向轴线(10)的纵向方向看去，所述叶片(1)包括最接近所述毂的根部区域(2)、最远离毂的翼面区域(4)和在所述根部区域(2)和所述翼面区域(4)之间的过渡区域(3)。沿横向看去，所述叶片(1)包括前缘(5)和后缘(6)以及在所述叶片(1)的所述前缘(5)和所述后缘(6)之间延伸的弦平面(K)。带有多个凹痕(7)和/或突起的表面区域被设置在至少所述根部区域(2)中，所述凹痕和/或突起成形且具有一定尺度从而改进越过所述叶片(1)的表面的风流动。



1. 一种用于具有大致水平的转子轴的风力涡轮机转子的叶片 (1)，所述转子包括毂，在该处，在沿着纵向轴线 (10) 的纵向内看去，所述叶片 (1) 包括最接近所述毂的根部区域 (2) 和最远离毂的翼面区域 (4)，且在该处，如在横向内看去，所述叶片 (1) 包括前缘 (5) 和后缘 (6) 以及在所述叶片 (1) 的所述前缘 (5) 和所述后缘 (6) 之间延伸的弦平面 (K)，其中所述根部区域 (2) 具有大致圆形的横截面，其特征在于，带有多个凹痕 (7) 和 / 或突起的表面区域被设置在至少所述根部区域 (2) 中，所述凹痕和 / 或突起成形且具有一定尺度从而改进越过所述叶片 (1) 的表面的风流动，其中所述叶片 (1) 的纵向内的所述表面区域大致沿所述根部区域 (2) 的整个长度延伸。

2. 如权利要求 1 所述的叶片，其中所述叶片 (1) 还包括在所述根部区域 (2) 和所述翼面区域 (4) 之间的过渡区域 (3)。

3. 如权利要求 2 所述的叶片，其中所述表面区域仅包括多个凹痕。

4. 如权利要求 2 所述的叶片，其特征在于，所述表面区域包括第一区域部分 (8) 和第二区域部分 (9)，在一定角度方向内看去，其中第一区域部分 (8) 和第二区域部分 (9) 分别至少从 30 度延伸到 150 度以及从 -30 度延伸到 -150 度，或者分别从 60 度延伸到 135 度以及从 -60 度延伸到 -135 度，或者分别从 60 度延伸到 120 度以及从 -60 度延伸到 -120 度，在该处从纵向轴线 (10) 到前缘 (5) 的线被定义为 0 度，且从纵向轴线 (10) 到后缘 (6) 的线被定义为 180 度。

5. 如权利要求 2-4 中任一项所述的叶片，其特征在于，所述表面区域延伸进入所述过渡区域 (3)。

6. 如权利要求 4 所述的叶片，其特征在于，在所述过渡区域 (3) 内的所述第一区域部分 (8) 和所述第二区域部分 (9) 围绕横向于所述弦平面 (K) 的点进行定位，在该处所述过渡区域 (3) 的轮廓具有最大厚度。

7. 如权利要求 5 所述的叶片，其特征在于，最接近所述毂定位的所述翼面区域 (4) 的至少一部分具有多个凹痕 (7) 和 / 或突起。

8. 如权利要求 1 所述的叶片，其特征在于，所述表面区域包括多个大致均一的凹痕 (7) 或突起。

9. 如权利要求 1 所述的叶片，其特征在于，所述表面区域包括多个大致圆形的、凹入的凹痕。

10. 如权利要求 1 所述的叶片，其特征在于，所述表面区域包括多个六边形凹痕。

11. 如权利要求 1 所述的叶片，其特征在于，所述凹痕 (7) 和 / 或突起具有 2 到 100 毫米的宽度以及 1 到 20 毫米的深度。

12. 如权利要求 1 所述的叶片，其特征在于，所述凹痕 (7) 和 / 或突起具有 3 到 50 毫米的宽度。

13. 如权利要求 1 所述的叶片，其特征在于，所述凹痕 (7) 和 / 或突起具有 4 到 20 毫米的宽度。

14. 如权利要求 11 到 13 中任一项所述的叶片，其特征在于，所述凹痕 (7) 和 / 或突起具有 1 到 10 毫米的深度。

15. 如权利要求 11 到 13 中任一项所述的叶片，其特征在于，所述凹痕 (7) 和 / 或突起具有 1 到 5 毫米的深度。

16. 如权利要求 1 所述的叶片,其特征在于,所述凹痕 (7) 在所述叶片 (1) 的表面上凹进。

17. 如权利要求 1 所述的叶片,其特征在于,所述凹痕 (7) 和 / 或突起是遮盖物的一部分,所述遮盖物设置在所述叶片的表面上。

18. 如权利要求 17 所述的叶片,其特征在于,所述遮盖物是带或薄膜。

19. 如权利要求 3 所述的叶片,其中所述凹痕是凹坑。

## 用于风力涡轮机转子的叶片

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于具有大致水平的转子轴的风力涡轮机转子的叶片，所述转子包括毂，在该处，在沿着纵向轴线的纵向内看去，所述叶片包括最接近所述毂的根部区域、最远离毂的翼面区域和在所述根部区域和所述翼面区域之间可选的过渡区域，且在该处，如在横向内看去，所述叶片包括前缘和后缘以及在所述叶片的所述前缘和所述后缘之间延伸的弦平面，其中所述根部区域具有大致圆形的横截面。

### [0002] 背景技术

[0003] 理想情况下，翼型的叶片形如典型的飞机机翼，其中随着到所述毂的距离的减少，所述叶片的弦平面宽度及其一阶导数持续增加。这导致叶片在理想情况下在所述毂的附近是相当宽的。这在必须将所述叶片安装到所述毂上时再一次导致出现若干问题，而且在所述叶片安装好时由于所述叶片的表面面积较大从而会引起较大的载荷诸如风暴载荷。

[0004] 因此，多年来，叶片的构造已经朝着一种形状发展，即：所述叶片包括最接近所述毂的根部区域、最远离所述毂的翼面区域和介于所述根部区域与翼面区域之间的过渡区域。所述翼面区域具有理想的或近乎理想的叶片形状，而另一方面所述根部区域具有大致圆形的横截面从而减小了风暴载荷并使得将叶片安装到所述毂上更为容易且更安全。所述根部区域的直径优选地沿着整个根部区域是恒定的。由于所述圆形横截面，因此所述根部区域无助于所述风力涡轮机的生产，而且，事实上，由于存在风阻力而使产量略为降低。正如其名称所暗示的，所述过渡区域具有从所述根部区域的圆形形状逐渐变为所述翼面区域的翼面轮廓的形状。通常，所述过渡区域的宽度随着到所述毂的距离的增加而大致线性地增加。

[0005] 在高尔夫领域中，人所共知的是，带凹痕（所谓的凹坑）的高尔夫球能够比具有光滑表面的高尔夫球飞得更远。这是由于所述高尔夫球在飞越天空时经受的空气动力学风阻力的减少。所述高尔夫球受到两种类型的风阻力。所述第一种类型是由于在所述球移动通过空气时所受到的摩擦力，但摩擦力仅仅解释了所述高尔夫球经受的总的风阻力的一小部分的原因。所述风阻力的主要部分归因于所述球后方气流的分离，这被称为由于分离导致产生的压力损失。

[0006] 所述高尔夫球后方的分离间隙越大，所述高尔夫球后方的所述压力损失越大。因而，在所述球的前面和后面之间的压差增加，且因此所述高尔夫经受的所述风阻力也增加。

[0007] 在层流气流经过球体的情况下，在所述高尔夫球后方的分离间隙相当大，而所述分离间隙对于湍流气流而言则显著地较小。因此，高尔夫球具有凹坑，这导致围绕所述高尔夫球的气流从湍流状向湍流状变化，这还使得气流“保持”在所述高尔夫球表面上的时间更长，并减小了在所述高尔夫球后方的分离间隙。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的是为风力涡轮机叶片提供新的和改进的构造。

[0009] 根据本发明，此目的是通过具有设置在至少所述根部区域内的若干凹痕和 / 或突

起的表面区域而达到的,所述凹痕和 / 或突起成形且具有一定尺寸以改进越过所述叶片的表面的风流动,即,减小在转子旋转期间所述叶片的后缘后方(或根部区域)的分离间隙。因而利用了由所述高尔夫球关于产生湍流气流而得知的原理。这样,所述根部部分的空气动力学空气阻力减小,由此使风力涡轮机的产量增加和所述叶片上的风暴载荷减小。这尤其是适用于特别宽大的叶片和带有毂延伸件(hub extender)的叶片。优选地,所述表面区域包括大量的凹痕和 / 或突起。

[0010] 优选地,所述叶片被成形为由纤维增强聚合物制成的壳体。

[0011] 根据本发明的叶片的一个优选实施例,所述的表面区域大致沿所述根部区域的整个长度延伸。因而,所述空气阻力沿所述根部区域的整个长度减小。

[0012] 根据一个适当的实施例,所述根部区域具有大致圆形横截面。这样,较容易将所述叶片锚定到所述毂上。

[0013] 根据一个特定的实施例,所述表面区域包括第一区部分和第二区域部分,沿一定角度方向看去,在该处第一和第二区域部分分别至少从 30 度延伸到 150 度、以及从 -30 度延伸到 -150 度,或者分别从 60 度延伸到 135 度、以及从 -60 度延伸到 -135 度,或者分别从 60 度延伸到 120 度、以及从 -60 度延伸到 -120 度,在该处从纵向轴线到前缘的线被定义为 0 度,且从纵向轴线到后缘的线被定义为 180 度(或 -180 度)。然而,所述凹痕和 / 或突起可以沿整个角度方向排布,即,从 -180 度到 +180 度。

[0014] 相对于纵向轴线的 0 度可以基于由所述根部区域经受的生成风向进行定义。因为生成风向是实际风速和所述叶片局部速度的累加矢量,因此所述第一和所述第二区域部分的最佳位置取决于到毂的距离。因而,所述两个区域部分的位置可以用同样方式沿纵向被扭曲。叶片的所述弦平面经常沿所述叶片的纵向被扭曲。

[0015] 根据本发明的一个特定实施例,所述表面区域延伸进入所述过渡区域。特别是,所述表面区域至少延伸进入最接近所述毂的所述过渡区域,且优选地大致沿所述过渡区域的所述整个纵向进行延伸。

[0016] 根据一个优选实施例,所述表面区域仅沿着所述叶片半径的内部的 50%、或 35%、或 20%、或 10% 进行延伸。

[0017] 根据一个适当的实施例,在所述过渡区域中的所述第一区域部分和所述第二区域部分围绕横向于所述弦平面的点进行定位,在该处所述过渡区域的所述轮廓具有最大厚度。

[0018] 根据一个备择实施例,最接近所述毂并因而经受了最低的生成风速的所述翼面区域的至少一部分具有多个凹痕和 / 或突起。

[0019] 根据一个备择实施例,多个凹痕和 / 或突起仅被设置在所述根部区域中。

[0020] 根据按照本发明的所述叶片的一个优选实施例,所述表面区域包括多个大致均一的凹痕或突起。

[0021] 根据一个特别优选的实施例,所述表面区域包括多个大致圆形的、凹入的凹痕。这对应于高尔夫球上的凹坑。

[0022] 所述表面区域也可以包括多个六边形凹痕,其允许进一步减小空气阻力。当然,所述表面区域也可以包括具有各种形状的、诸如任意多边形的若干凹痕或突起的组合。

[0023] 此外,所述凹痕和 / 或突起可具有不同的尺寸。可根据所述叶片的局部速度选择

所述尺寸,这可能意味着例如:若干凹痕的各自面积和深度 / 高度随着到所述毂的增加的距离而增加。

[0024] 所述凹痕和 / 或突起可以根据预定的图案进行配置,备择地,所述凹痕和 / 或突起的相互位置可以是随机的。

[0025] 根据一个特定实施例,所述凹痕和 / 或突起具有 2-100 毫米,3-50 毫米或 4-20 毫米的宽度和 1-20 毫米、1-10 毫米或 1-5 毫米的深度。

[0026] 根据本发明的一个优选实施例,所述凹痕在所述叶片的所述表面上凹进。因而,所述表面结构可以在所述叶片的模制过程期间形成。

[0027] 备择地,所述凹痕和 / 或突起可以是一种遮盖物(诸如带或膜)的一部分,其设置在所述叶片的所述表面上。这允许借助于现有的模具制造叶片,且在已经模制所述叶片之后将所述遮盖物首先供应到所述叶片的所述表面。

[0028] 根据本发明,本目的也通过用于遮盖叶片的所述表面的薄膜或箔片达到,所述薄膜或箔片具有适于例如借助于粘合而紧固到所述叶片所述表面的第一面、且具有当所述薄膜被紧固到所述叶片时朝向远离所述叶片所述表面的第二面,在该处所述薄膜的所述第二面具有多个凹痕和 / 或突起。

## 附图说明

[0029] 通过在附图中所示的若干实施例而在下面对本发明更具体地加以解释,其中:

[0030] 图 1 示出了所述翼型的一种理想叶片的顶视图,

[0031] 图 2 示出了所述翼型的一种常规叶片的立体透视图,和

[0032] 图 3a 和 3b 示出了分别在一个光滑球体之上和在表面上具有若干凹痕的一个球体之上的气流,

[0033] 图 4 示出了根据本发明的一个叶片的第一实施例,

[0034] 图 5 示出了穿过根据本发明的一个叶片的第二实施例的所述根部区域的横截面视图,和

[0035] 图 6 示出了穿过根据本发明的一个叶片的第二实施例的所述过渡区域的横截面视图。

## 具体实施方式

[0036] 图 1 示出了所述翼型的一种理想叶片 101 的一个实施例。所述叶片具有适于固定到风力涡轮机的毂上的根部部分 102。所述理想叶片 101 被设计为使得所述叶片 101 的所述宽度随着到所述毂的距离 L 的增加而减小。另外,所描述的叶片 101 的所述宽度的一阶导数也随着到所述毂 101 的距离的增加而减小,这意味着,在理想情况下,所述叶片 101 在所述根部区域 102 处非常宽。这导致对于将所述叶片 101 固定到所述毂上而言产生若干问题。此外,在安装时,由于叶片 101 的宽大表面积,所述叶片 101 用大风暴载荷冲击所述毂。

[0037] 因此,多年来,叶片的构造已经朝着一种形状发展,即:所述叶片的外面部分对应于所述理想的叶片 101,而所述根部区域的表面区域与理想的叶片相比显著减小。此实施例用图 1 中的虚线图示,其透视图在图 2 中示出。

[0038] 如图 2 可见, 常规的叶片 201 包括最接近所述毂的根部区域 202、离所述毂最远的翼面区域 204 和介于所述根部区域 202 和所述翼面区域 204 之间的过渡区域 203。所述叶片 201 包括: 当所述叶片安装到所述毂上时, 朝向所述叶片 201 的旋转方向的前缘 205、以及朝向与所述前缘 205 相反方向的后缘 206。所述翼面区域 204 具有一种理想的或近乎理想的叶片形状, 而另一方面所述根部区域 202 具有大致圆形的横截面, 这减小了风暴载荷并使得将所述叶片 201 安装到所述毂上更为容易且更安全。优选地, 所述根部区域 202 的直径沿所述整个根部区域 202 恒定。所述过渡区域 203 具有从所述根部区域 202 的圆形形状逐渐变为所述翼面区域 204 的翼面轮廓的形状。所述过渡区域 203 的宽度随着到所述毂的距离 L 的增加而大致线性地增加。

[0039] 所述翼面区域 204 具有一种带有在所述叶片 201 的所述前缘 205 和所述后缘 206 之间延伸的弦平面 K 的翼型。所述弦平面的宽度随着到所述毂的距离 L 的增加而减小。应该注意到: 所述弦平面不总是在其整个范围内笔直延展, 因为所述叶片可以被扭曲和 / 或弯曲, 因而给所述弦平面提供相应扭曲和 / 或弯曲过程, 这是最常见的情况以便补偿取决于到所述毂的半径的所述叶片的局部速度。

[0040] 由于所述圆形横截面, 所述根部区域 202 无助于所述风力涡轮机的生产, 而且, 事实上, 由于风阻力而使产量略为降低。

[0041] 图 3a 示出了经过球体 50 的层流气流 52, 而图 3b 示出了经过带有若干凹坑的球体 60 的湍流气流 62。在层流气流 52 的情况下, 在所述球体 50 后方的分离间隙 51 相对较大。因此, 在所述球体后方存在较大的压降, 且因而在所述球体 50 的前部和后部之间的压差是相应较大的。所述压差导致作用力作用在所述球体的所述后部上。在湍流气流 62 的情况下, 在所述球体 60 后方的分离间隙 61 显著地较小, 且因而介于所述球体 60 的所述前部和所述后部之间的压差显著地较小, 且因此朝所述球体的所述后部作用的力也是较小的。

[0042] 为何例如高尔夫球具有带若干凹痕或所谓的凹坑的表面的原因是基于改变所述球的临界雷诺数的需要, 所述临界雷诺数即在所述流动从层流变为湍流条件下的数值。对于图 3b 中所示的一个光滑表面, 所述临界雷诺数比高尔夫球移动通过空气时所达到的平均雷诺数高得多。

[0043] 对于具有经喷砂处理表面的高尔夫球而言, 其在临界雷诺数条件下风阻力的减小大于带若干凹坑的高尔夫球的情况。但是所述风阻力随着雷诺数的增加而增加。然而, 带有若干凹坑的高尔夫球具有较低的临界雷诺数, 且对于比所述临界雷诺数更高的雷诺数而言, 所述阻力是大致恒定的。

[0044] 换句话说, 所述的若干凹痕确保了所述临界雷诺数的减小, 这导致所述流动比光滑球体情况在更低的风速条件下变为湍流。这使得所述气流“保持”在所述高尔夫球的表面上的时间更长, 这导致风阻力的减小。

[0045] 所述表面背后所基于的计划是: 根据由高尔夫球已公知的所述原理, 利用此已公知效应, 尤其是减小在所述风力涡轮机叶片的那些部件的所述风阻力, 在该处所述叶片不具有理想的翼面轮廓。

[0046] 图 4 示出根据本发明的一种叶片 1, 其中所述根部区域 2 和所述过渡区域 3 具有多个凹痕和 / 或突起 7。下面, 它们被称为凹痕或凹坑, 但显而易见的是, 它们可以是凹入及凸起(即, 突起)。所述叶片 1 的翼面区域不具有凹痕。所述根部区域 2 沿其整个纵向方向

具有若干凹痕 7，且所述凹痕 7 优选地配置为全部围绕所述圆形根部区域 2。所述过渡区域 3 被描述为沿其整个纵向方向具有若干凹痕。然而，最重要的是，位于最接近所述根部区域 2 处的所述过渡区域 3 的所述区域具有若干凹痕 7，这是因为所述横截面轮廓的这点示出了与所述理想翼型的最大偏离。应该注意到：为清晰起见，单个图示出的凹痕 7 不是按规定比例进行绘制的且在图中更大，且事实上它们通常显著地更小。

[0047] 优选地，所述整个根部区域 2 在所述角度方向内具有若干凹坑 7。但是因为所述叶片的旋转方向相对于所述风向（与高尔夫球相反）被明确定义，将若干凹坑提供给第一区域部分 8 和第二区域部分 9 可以是足以满足需要的。所述区域部分 8、9 可以如图 5 所示的配置。从所述叶片 1 的所述纵向轴线 10 朝所述叶片的所述前缘 5 的线被定义为具有 0 度的角度，而从所述叶片 1 的所述纵向轴线 10 朝向所述叶片的所述后缘的线被定义为具有 180 度的角度。所述第一区域部分 8 在从角度  $\alpha_1$  到角度  $\alpha_2$  的角度方向内延伸，而所述第二区域部分 9 从  $-\alpha_1$  到  $-\alpha_2$  的角度方向内延伸。优选地，角度  $\alpha_1 = 30$  度且  $\alpha_2 = 150$  度，但是角度  $\alpha_1 = 60$  度且  $\alpha_2 = 135$  度可以是足以满足需要的，且甚至于角度  $\alpha_1 = 60$  度且  $\alpha_2 = 120$  度是足以满足需要的。

[0048] 优选地，在所述叶片 1 的所述前缘 5 和所述后缘 6 之间延伸的所述叶片的所述弦平面 K 被定向为其跟随生成的局部风向。因为这取决于所述叶片的所述局部速度，所述弦平面优选地在所述叶片 1 的所述纵向方向 L 内扭曲。因而，所述两个区域部分 8、9 的所述局部位置也可以在所述叶片 1 的所述纵向方向 L 内扭曲。

[0049] 图 6 示出了穿过所述过渡区域 3 的剖面，其中所述轮廓的后缘 6 或多或少 可以是钝的或截头的。在所图示的实施例中，所述凹痕 7 再次被配置在两个不同区域部分 8、9 中。优选地，所述区域部分围绕横向于所述弦平面 K 的点进行定位，在该处所述轮廓的厚度 T 最大。但是如在所述根部区域 2 中，所述凹痕 7 优选地配置为全部围绕所述过渡区域 3、或至少从所述区域开始，其中所述轮廓的所述厚度 T 是最大的，始终高达所述叶片 1 的所述后缘 6。

[0050] 为清晰起见，图 5 和图 6 中图示的所述凹痕 7 同样不是按比例进行绘制的，且优选地相对于所述轮廓的所述尺寸显著更小。

[0051] 所述凹痕 7 优选地形如圆形、凹入的凹痕，对应于高尔夫球上的凹坑。然而，它们可以是三角形的、矩形的、六边形的或具有任何其它多边形形状。例如，六边形形状比圆形凹痕进一步减小了所述风阻力。所述凹痕也可以具有变化的形状。

[0052] 所述凹痕 7 也可以具有变化的尺寸。优选地，在所述叶片 1 的尺寸以及所述叶片 1 所经受的风速的基础上选择所述尺寸。因为所述叶片 1 的局部速度随着到所述毂的距离 L 的增加而增加，所述生成的局部风速也随着到所述毂的距离的增加而增加。因而可基于到所述毂的距离 L 选择所述凹痕 7 的尺寸。所述凹痕 7 的相互位置可以在预定的图案之后配置或可以是随机的。

[0053] 所述凹痕 7 可以在制造所述叶片 1 的过程中成形，即在模制过程本身期间。它们也可以在模制所述叶片之后凹进。备择地，所述凹痕 7 通过随后用带有若干凹痕的带或薄膜覆盖所述叶片 1 的所述表面而形成。

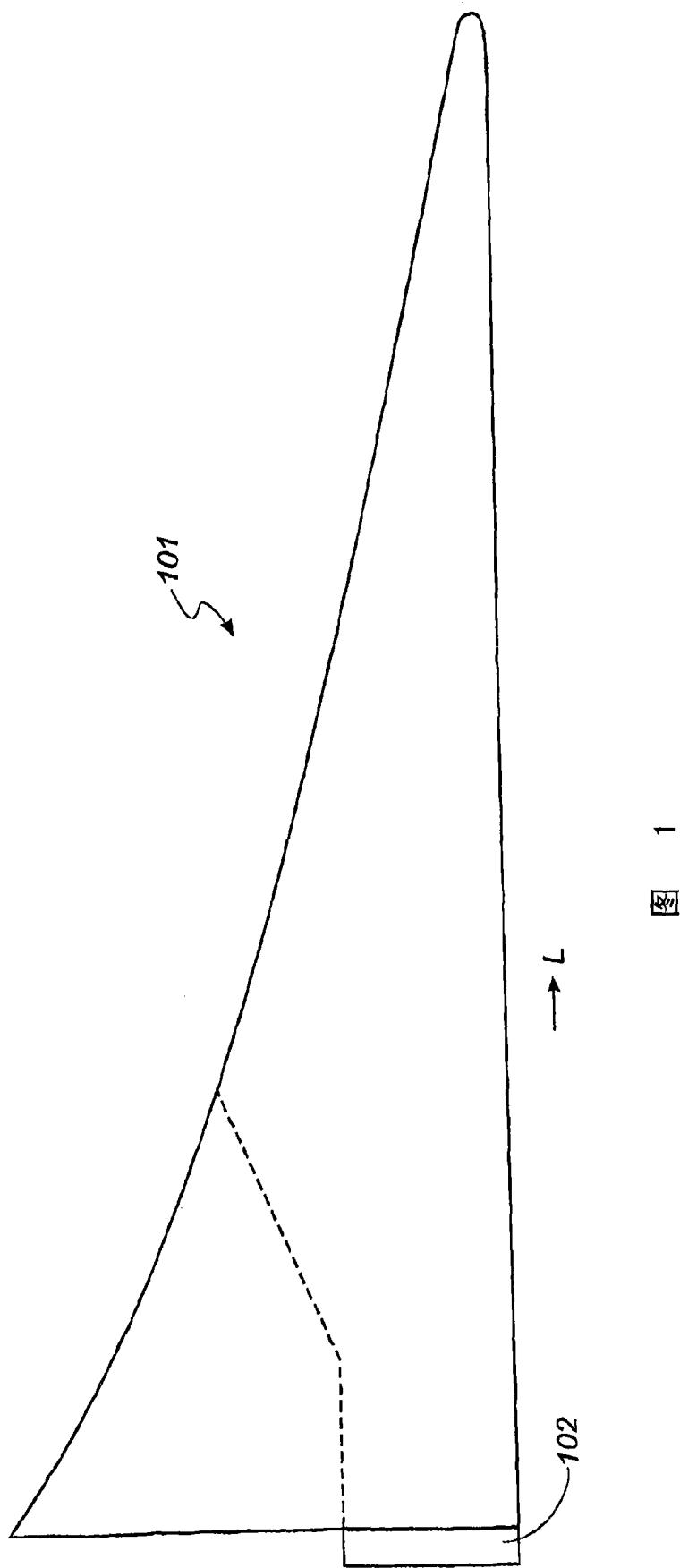
[0054] 减小在所述风力涡轮机的塔上的所述风暴载荷、而同时减小在所述风力涡轮机叶片上的所述风暴载荷，这可以是有利的。通常，所述塔具有大致圆形的横截面，且通过将旋

转地连接到所述塔的构造装设到所述塔的尤其是最上部,从而使得所述塔的所述横截面与所述构造一起具有降阻轮廓 (drag reduction profile) 的形状,即大致对称的液滴形,可以获得相当大的风暴载荷的减少,如模拟构型中所示。所述构造必须以一种方式旋转地连接到塔上,所述方式即其自动地相对于风向进行自定向从而使得所述“滴尖端”指向所述风向。

[0055] 本发明已经结合优选实施例加以说明。可以构思到许多修改而不会由此偏离本发明的范畴。对本领域的技术人员显而易见的修改和变化被认为是属于本发明的范畴。

[0056] 附图标记列表

- [0057] 1, 101, 201 叶片
- [0058] 2, 102, 202 根部区域
- [0059] 3, 203 过渡区域
- [0060] 4, 204 翼面区域
- [0061] 5, 205 前缘
- [0062] 6, 206 后缘
- [0063] 7 凹痕 / 突起, 凹坑
- [0064] 8 第一区域部分
- [0065] 9 第二区域部分
- [0066] 10 纵向轴线
- [0067] 50 光滑球体
- [0068] 51 分离间隙
- [0069] 52 气流
- [0070] 60 带凹坑的球体
- [0071] 61 分离间隙
- [0072] 62 气流
- [0073]  $\alpha_1$  第一角度
- [0074]  $\alpha_2$  第二角度
- [0075] L 纵向方向
- [0076] K 弦平面
- [0077] T 厚度



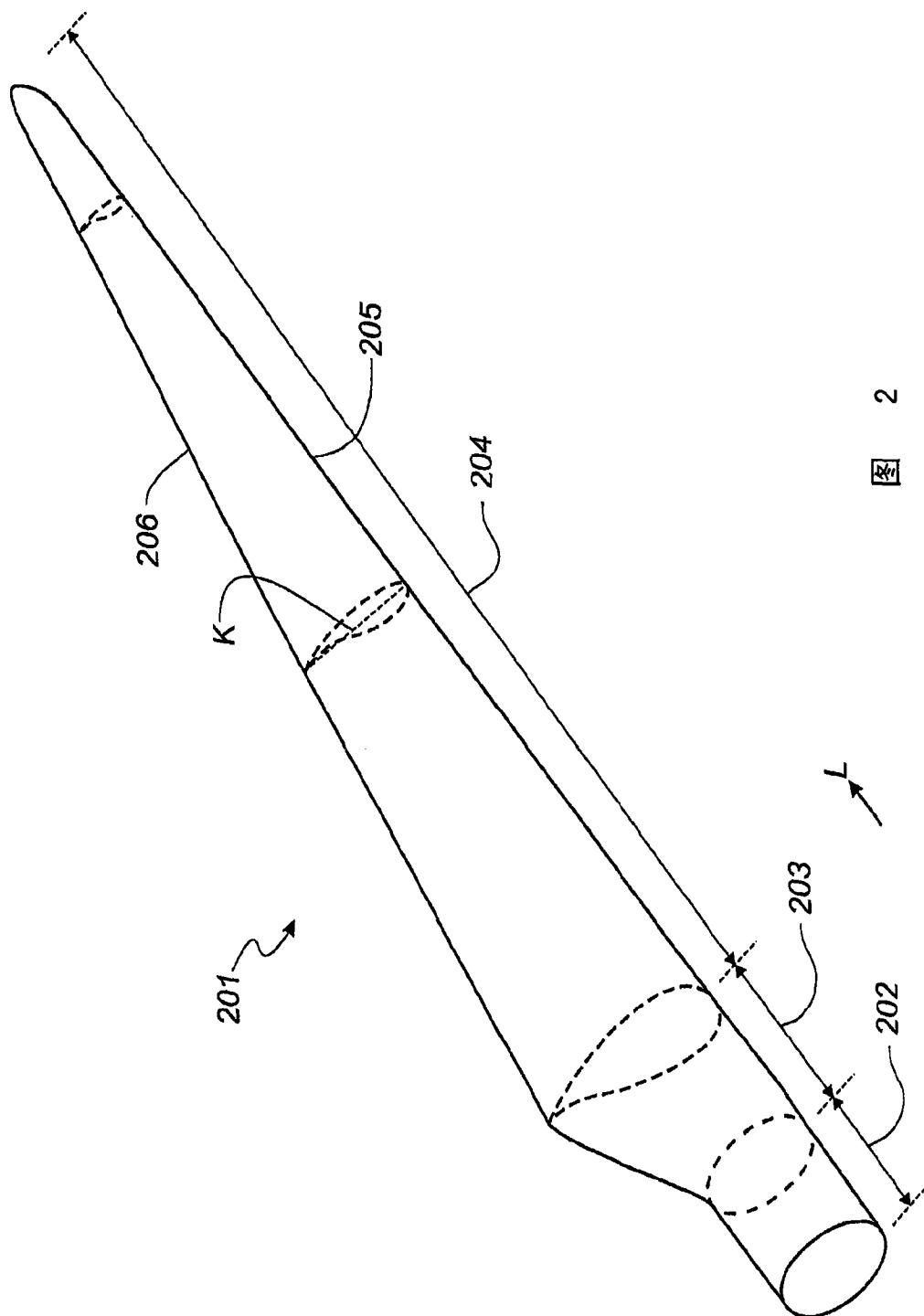


图 2

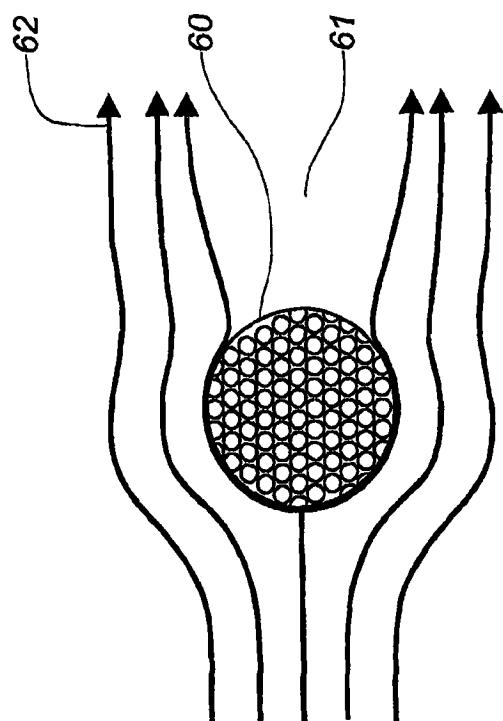


图 3b

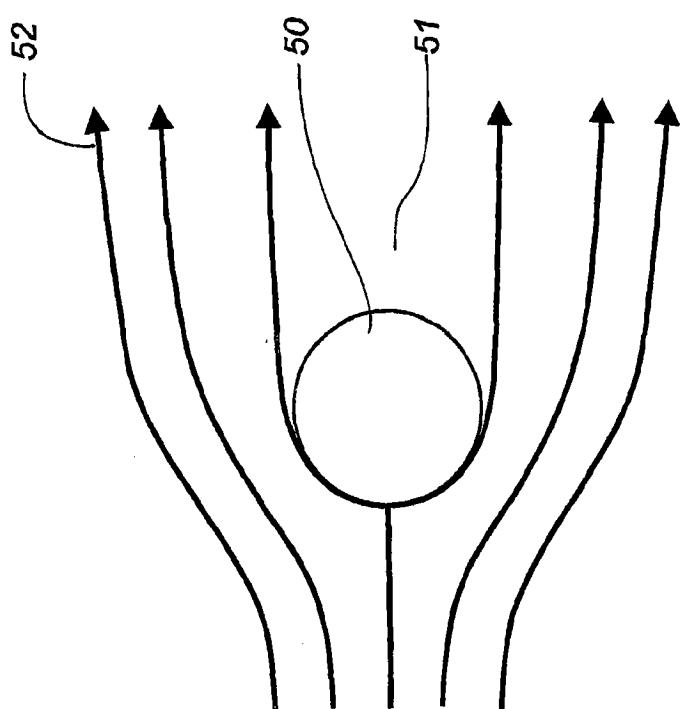


图 3a

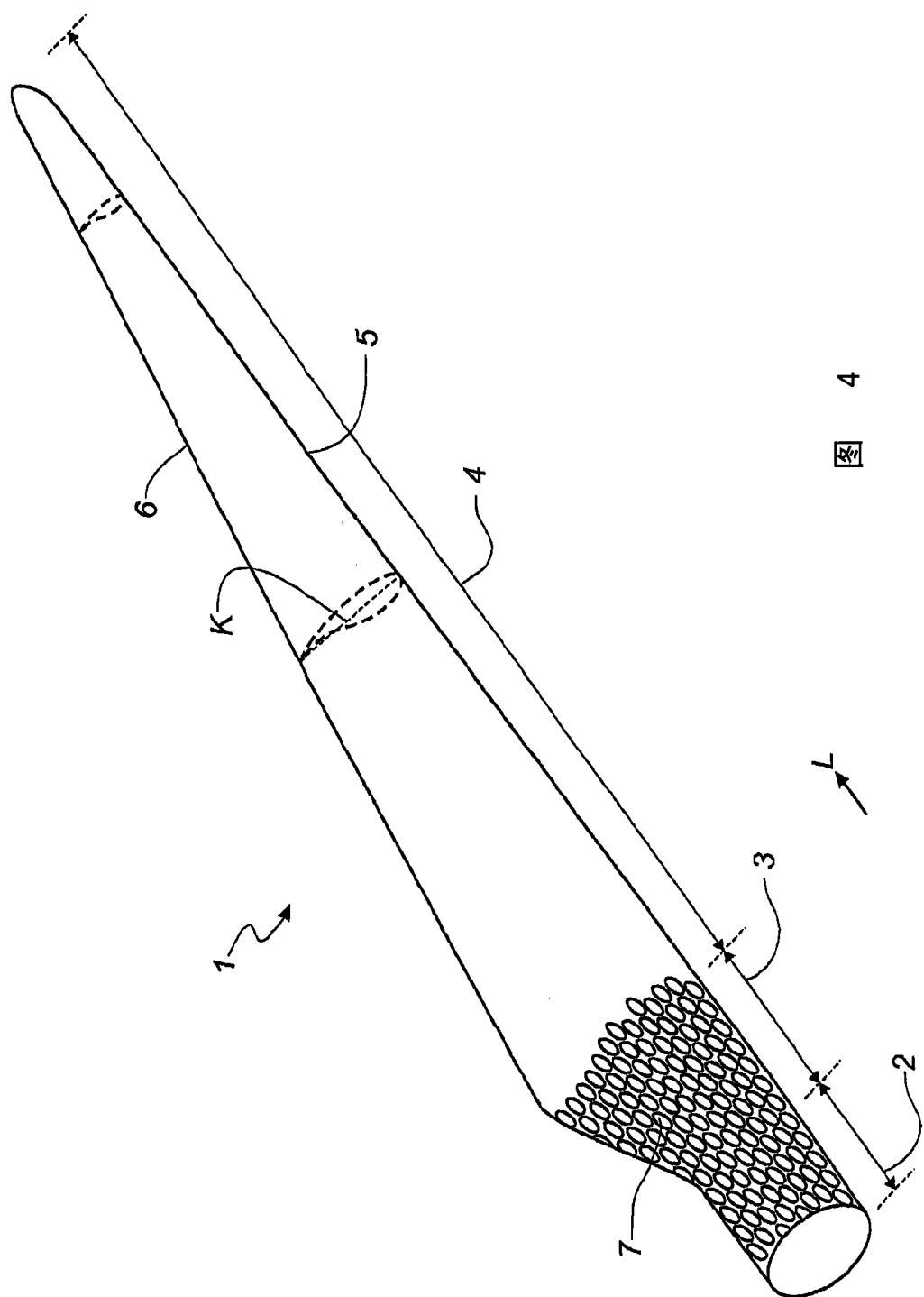


图 4

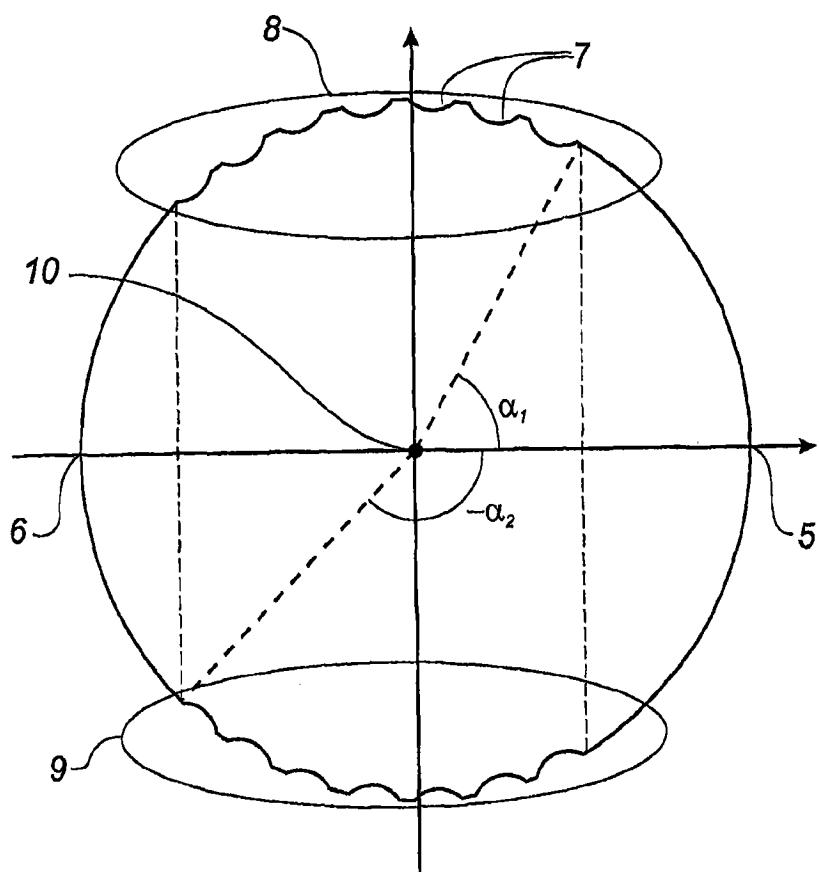


图 5

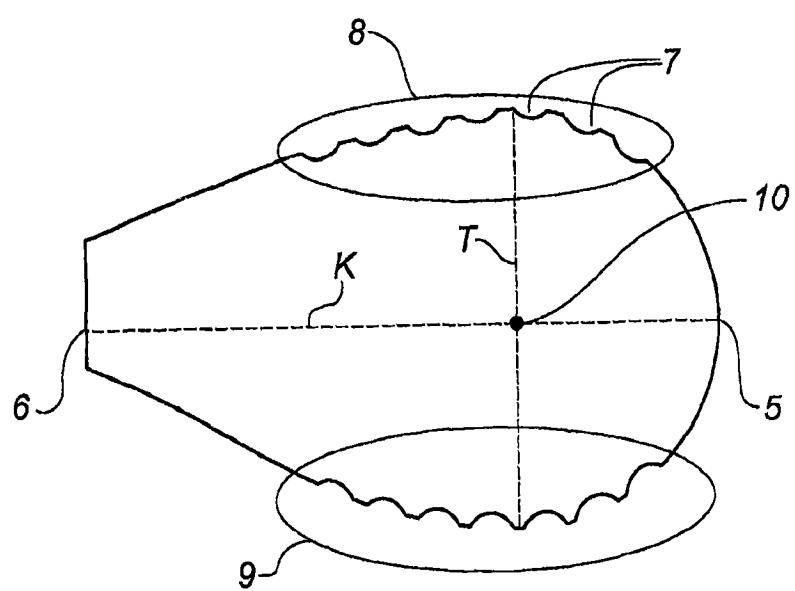


图 6