

# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102666271 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 12

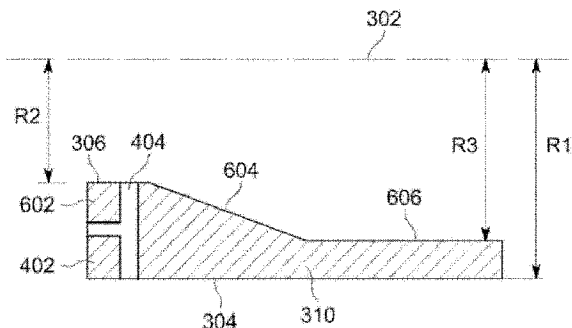
- (21) 申请号 201080058763. 1 B63H 15/00 (2006. 01)
- (22) 申请日 2010. 12. 21 B64C 11/04 (2006. 01)
- (30) 优先权数据 B64C 27/48 (2006. 01)
  - 12/642, 891 2009. 12. 21 US F04D 29/26 (2006. 01)
  - F03B 3/12 (2006. 01)
- (85) PCT申请进入国家阶段日  
2012. 06. 21
- (86) PCT申请的申请数据  
PCT/IN2010/000839 2010. 12. 21
- (87) PCT申请的公布数据  
W02011/077454 EN 2011. 06. 30
- (71) 申请人 通用电气公司  
地址 美国纽约州
- (72) 发明人 B. 阿楚桑 S. 桑巴默蒂
- (74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
72001  
代理人 严志军 杨炯
- (51) Int. Cl.  
B63H 1/20 (2006. 01)  
B63H 5/00 (2006. 01)  
B63H 13/00 (2006. 01)

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 8 页

(54) 发明名称  
流体涡轮机转子叶片

(57) 摘要

本发明涉及一种流体涡轮机转子叶片。所述转子叶片包括：法兰部段，所述法兰部段被配置成将所述转子叶片连接到转子毂；以及翼型部段，所述翼型部段从所述法兰部段向外延伸。所述法兰部段包括碳加强聚合物。



1. 一种用于流体涡轮机的转子叶片,包括:  
法兰部段,所述法兰部段被配置成将所述转子叶片连接到转子毂;以及  
翼型部段,所述翼型部段从所述法兰部段向外延伸,  
其中所述法兰部段包括碳加强聚合物。
2. 根据权利要求1所述的转子叶片,其特征在于,所述法兰部段具有第一端部和第二端部,所述第一端部具有第一直径,并且所述第二端部具有大于所述第一直径的第二直径。
3. 根据权利要求2所述的转子叶片,其特征在于,所述法兰部段包括在所述第一端部和所述第二端部之间的锥形部分。
4. 根据权利要求3所述的转子叶片,其特征在于,所述法兰部段还包括在所述第一端部和所述锥形部分之间的过渡部分,所述过渡部分具有恒定的直径和壁厚度。
5. 根据权利要求3所述的转子叶片,其特征在于,所述锥形部分具有在尺寸上沿着它的长度线性变化的壁厚度。
6. 根据权利要求2所述的转子叶片,其特征在于,所述第一端部被配置成连接到所述转子毂,所述翼型元件从所述第二端部向外延伸。
7. 根据权利要求2所述的转子叶片,其特征在于,所述第一直径与所述第二直径的比率在大约0.75至1.0的范围内。
8. 根据权利要求7所述的转子叶片,其特征在于,在所述法兰部段中的接头螺栓具有在1.0至1.60的范围内的疲劳储备因数。
9. 根据权利要求1所述的转子叶片,其特征在于,所述流体是空气或水。
10. 根据权利要求1所述的转子叶片,其特征在于,所述流体涡轮机是风力涡轮机、潮汐涡轮机、海流推进式涡轮机、洋流动能式涡轮机、潮汐流发电机或轴流式涡轮机。
11. 一种用于流体涡轮机的转子叶片的叶片根部,包括:  
第一端部,用于连接到转子毂;  
第二端部,所述转子叶片的翼型部段从所述第二端部向外延伸;以及  
锥形部分,在所述第一端部和所述第二端部之间;  
其中所述叶片根部包括碳加强聚合物。
12. 根据权利要求11所述的叶片根部,其特征在于,所述第一端部的直径小于所述第二端部的直径。
13. 根据权利要求12所述的叶片根部,其特征在于,所述第一端部的直径与所述第二端部的直径的比率在大约0.75至1.0的范围内。
14. 根据权利要求12所述的叶片根部,其特征在于,所述第一端部的直径在大约1.5至1.85米的范围内。
15. 根据权利要求12所述的叶片根部,其特征在于,所述第二端部的直径在大约1.8至2.3米的范围内。
16. 根据权利要求12所述的叶片根部,其特征在于,在所述叶片根部中的接头螺栓具有在1.0至1.60的范围内的疲劳储备因数。
17. 根据权利要求11所述的叶片根部,其特征在于,还包括在所述第一端部和所述锥形部分之间的过渡部分,所述过渡部分具有大致恒定的直径和壁厚度。
18. 根据权利要求17所述的叶片根部,其特征在于,所述锥形部分具有从所述过渡部

分至所述第二端部线性地递减的壁厚度。

19. 根据权利要求 18 所述的叶片根部,其特征在于,所述过渡部分的壁厚度为大约 100mm。

20. 根据权利要求 19 所述的叶片根部,其特征在于,所述第二端部具有大约 56mm 的壁厚度。

## 流体涡轮机转子叶片

### [0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2009 年 12 月 21 日提交的、序列号为 12/642,891 的美国专利申请的优先权和权益并且是上述申请的部分继续申请,上述申请的公开内容通过引用完全被合并于本文中。

### 技术领域

[0003] 本发明总体上涉及流体涡轮机,并且更具体地,涉及用于将转子叶片连接到流体涡轮机的毂的法兰部段。

### 背景技术

[0004] 流体涡轮机作为环保并且相对廉价的替代能源而受到的越来越多的关注。随着该关注的增加,已作出很多努力来开发可靠并且有效率的流体涡轮机。流体涡轮机的一些例子可以包括但不限于风力涡轮机、潮汐涡轮机、海流推进式涡轮机、洋流动能式涡轮机(marine hydrokinetic energy type turbines)、潮汐流发电机和轴流式涡轮机。本说明书中所使用的术语“流体”通常指液体和气体,例如水和空气。潮汐涡轮机在原理上类似于风力涡轮机,区别在于潮汐涡轮机由流水而不是空气驱动。某些类型的涡轮机(例如潮汐或海洋涡轮机)可以安装在有高潮汐流或连续洋流的水体(例如海洋)中,以便从大量流水提取能量。设计成在水体中运行的涡轮机在本说明书中将通常被称为“水下”涡轮机。

[0005] 通常,流体涡轮机包括转子,所述转子包括毂和安装在毂上的多个叶片。转子通常通过齿轮箱联接到发电机。发电机通常安装在外壳或机舱内。在风力涡轮机的情况下,发电机可以定位在管状塔架的顶部上。实用级流体涡轮机(即,设计成将电力提供给公用电网的流体涡轮机)可以具有大转子(例如,直径为三十米或以上)。这样的转子的叶片将流体能量(例如流动空气或流动水)转换成驱动发电机的旋转扭矩或力。转子可以通过轴承由塔架或其它合适的结构支撑,所述轴承包括联接到可旋转部分的固定部分。

[0006] 除了流体涡轮机转子叶片的空气动力学和流体动力学设计以外,转子叶片的品质和重量基本上由叶片根部部段的设计决定。该叶片根部部段在所谓的叶片根部接头处连接到转子毂。叶片根部接头是流体涡轮机转子叶片的关键方面,原因是它将来自转子叶片的所有空气动力学或流体动力学的力转移到风力涡轮机单元的其余部分。

[0007] 设计叶片与转子毂的连接的一个困难的方面是从转子叶片的纤维复合结构至转子毂的金属结构的负荷转移。原理上看,这样的负荷转移是困难的,韵味涉及性质明显不同的材料。此外,转子负荷集中于叶片根部,并且转子毂和负荷具有高动负荷谱(highly dynamic load spectrum)。

[0008] 转子叶片的根部部段与其它叶片部段相比通常更厚以适应高负荷。在常规流体涡轮机中,转子叶片的根部部段由玻璃纤维加强聚合物(“GFRP”)制造,具有 T 型螺栓接头。由玻璃纤维加强聚合物制造的转子叶片的根部部段的长度将典型地在大约 1.2 至 1.4 米的范围内。玻璃纤维加强聚合物通常相对于转子叶片的纵轴线成 0 和 +/-45 度的角定向,以

便承载弯曲和剪切负荷。叶片根部接头典型地由接头螺栓的疲劳寿命衡量。

[0009] 预计从诸如风和水之类的清洁资源发电的需求可能需要更大容量的流体涡轮机。增加流体涡轮机的容量的一种方式是通过增加转子叶片的尺寸。当转子叶片的尺寸增加时，根部部段的设计相对于所使用的材料的强度和重量而变得越来越重要。

[0010] 因此，期望提供一种用于转子叶片的根部部段，该根部部段解决上述问题中的至少一些问题。

### 发明内容

[0011] 如本说明书中所述，示例性实施例克服本领域中已知的一个或多个上述的缺点或其它缺点。

[0012] 示例性实施例的一个方面涉及一种用于流体涡轮机的转子叶片。公开一种用于流体涡轮机的转子叶片。所述转子叶片包括：法兰部段，所述法兰部段被配置成将所述转子叶片连接到转子毂；以及翼型部段，所述翼型部段从所述法兰部段向外延伸。所述法兰部段包括碳加强聚合物。

[0013] 所公开的实施例的另一个方面涉及一种用于流体涡轮机的转子叶片的叶片根部。所述叶片根部包括：第一端部，用于连接到转子毂；第二端部，所述转子叶片的翼型部段从所述第二端部向外延伸；以及锥形部分，在所述第一端部和所述第二端部之间。所述叶片根部包括碳加强聚合物。

[0014] 结合附图并考虑以下详细描述，示例性实施例的这些和其它方面和优点将变得明显。然而，应当理解，附图仅仅是为了图示而设计而不是作为本发明的范围的限定，本发明的范围应当参考所附的权利要求。而且，附图不必按比例绘制，并且除非另外指出，它们仅仅旨在概念地示出本说明书中所述的结构和步骤。另外，可以使用元件或材料的任何合适的尺寸、形状或类型。

### 附图说明

[0015] 在附图中：

[0016] 图 1 显示根据本发明的实施例的流体涡轮机的侧视正视图；

[0017] 图 2 显示根据本发明的实施例的流体涡轮机叶片的俯视透视图；

[0018] 图 3 是图 2 的流体涡轮机叶片的法兰部段的视图；

[0019] 图 4 是沿着图 3 中的线 4-4 的法兰部段中的 T 型螺栓连接的部分、横截面图；

[0020] 图 5 是叶片根部和转子毂的法兰部段之间的 T 型螺栓连接的横截面图；

[0021] 图 6 是图 3 中所示的转子叶片的法兰部段的侧壁的纵向横截面图；

[0022] 图 7 显示在不同视图中的 GFRP 叶片根部和包含所公开的实施例的多个方面的叶片根部；以及

[0023] 图 8 是包含所公开的实施例的多个方面的示例性洋流动能系统。

### 具体实施方式

[0024] 图 1 示出包含所公开的实施例的多个方面的示例性风力涡轮机 100。所公开的实施例的多个方面总体上涉及提供用于转子叶片的法兰部段或叶片根部，所述叶片根部包含

碳加强聚合物,由此,与常规叶片根部相比,允许减小叶片根部直径的尺寸和接头螺栓的数量。尽管本说明中描述的所公开的实施例的多个方面总体上与风力涡轮机 100 相关,但是所公开的实施例的多个方面不限于此。所公开的实施例的多个方面可以总体上应用于流体涡轮机,洋流动能涡轮机叶片是一个这样的例子。

[0025] 如图 1 中所示,风力涡轮机 100 包括机舱 102 和转子 106。机舱 102 是安装在塔架 104 的顶部上的外壳。机舱 102 包括布置在其中的发电机(未显示)。塔架 104 的高度基于本领域中已知的因素和条件进行选择,并且可以延长到高达 60 米或以上的高度。风力涡轮机 100 可以安装在能够进入具有理想风况的区域的任何地形上。地形可以区别很大并且可以包括但不限于多山地形、离岸位置或在水下应用中的水体。转子 106 包括附连到可旋转毂 110 的一个或多个涡轮机叶片 108。在该示例性实施例中,风力涡轮机 100 包括三个涡轮机叶片 108。

[0026] 图 2 示出根据本发明的实施例的示例性涡轮机叶片 108。涡轮机叶片 108 包括翼型部段 205 和叶片根部或根部分 209。翼型部段 205 连接到(以已知方式)叶片根部 209 并且从叶片根部 209 向外延伸。翼型部段 205 包括前缘 201、后缘 203、尖端 207 和根部边缘 211。涡轮机叶片 208 具有在叶片根部 209 的内缘 210 和尖端 207 之间的长度 L。也被称为法兰部段的叶片根部 209 可连接到图 1 中所示的风力涡轮机 100 的毂 110。

[0027] 图 3 示出从近端(即,在从叶片根部端部 210 的内缘 210 至转子叶片 108 的尖端 207 的方向上)看到的转子叶片 108 的法兰部段 209。法兰部段 209 具有大致圆形横截面,其中外侧壁表面 304 与转子叶片 108 的纵轴线 302 间隔半径 R1。法兰部段 209 也具有内侧壁表面 306,所述内侧壁表面 306 与转子叶片 108 的纵轴线 302 间隔半径 R2。法兰部段 209 的壁厚度 310 等于 R1 和 R2 之间的差。

[0028] 法兰部段 209 也包括多个纵向孔 402。纵向孔 402 典型地均具有直径 W1 并且沿着法兰部段 209 的圆周方向间隔开弧形距离 D1。当转子叶片 108 安装到毂 110 时,将螺栓插入纵向孔 402 中以形成 T 型螺栓连接。

[0029] 图 4 是沿着图 3 中的线 4-4 获得的法兰部段 209 中的 T 型螺栓连接的部分纵向横截面图。纵向孔 402 优选地位于转子叶片 108 的外侧壁表面 304 和内侧壁表面 306 之间的中间区域中。对于每个纵向孔 402,径向孔 404 设在侧壁表面 304 和 306 之间。当转子叶片 108 安装到转子毂 110 时,将横螺栓(cross-bolt)插入径向孔 404 中以与插入纵向孔 402 中的螺栓形成 T 型螺栓连接。根据所公开的实施例的法兰部段 209 包含碳纤维加强聚合物或由碳纤维加强聚合物形成。

[0030] 图 5 是形成于转子叶片 108 的法兰部段 209 和转子毂 110 的法兰 502 之间的横螺栓连接的横截面图。横螺栓 506 被显示为插入径向孔 404 中。横螺栓 506 具有与纵向孔 402 对准的阴螺纹部段 512。转子毂 110 的法兰 502 抵接法兰部段 209 的内缘 210。法兰 502 具有与法兰部段 209 的纵向孔 402 适配的通孔 508。通孔 508 和纵向孔 402 彼此对准使得螺栓 504 能插入通孔 508 和纵向孔 402 中。螺栓 504 包括与横螺栓 506 的阴螺纹适配的阳螺纹 510。螺栓 504 经由螺旋紧固而固定到横螺栓 506,以建立横螺栓连接。转子叶片 108 因此固定到转子毂 110。

[0031] 在上述螺栓连接布置中,转子毂 110 的法兰 502、横螺栓 506 和纵向螺栓 504 通常由钢制造。然而,法兰部段 209 通常由碳加强聚合物制造。

[0032] 图 6 示出法兰部段 209 的一个实施例的侧壁的纵向横截面图。法兰部段 209 包括纵向孔 402 和径向孔 404。在图 6 所示的实施例中,法兰部段 209 的壁具有三个部段:具有大致恒定的壁厚度的根端部段 602,具有递减壁厚度的中间部段 604,和具有大致恒定的壁厚度的叶片侧部段 606。在根端部段 602 处的图 3 的内半径 R2 比在叶片侧部段 606 处的 R3 更小。中间部段 604 连接根端部段 602 和叶片侧部段 606。在中间部段 604 内,在根端部段 602 处的内半径 R2 增加到在叶片侧部段 606 处的内半径 R3 以形成两个部段之间的大体平滑的过渡。典型地,从 R2 至 R3 的内半径沿着中间部段 604 的纵向长度线性地增加,使得法兰部段 209 的壁厚度 310 在中间部段 604 内从根端部段 602 处的较大的、大致恒定的厚度线性地变化到叶片侧部段 606 处的较小的、大致恒定的厚度。在所示的实施例中,外半径 R1 在法兰部段 209 的纵向长度上保持大致恒定。在备选实施例中,外半径 R1 可以变化。

[0033] 碳纤维加强聚合物相比于玻璃纤维加强聚合物提供高刚度-重量比。通过在叶片根部 209 中用碳纤维加强聚合物 (CFRP) 代替玻璃纤维加强聚合物,对于相同的根部直径,接头螺栓的数量可以减少。另外,通过使用碳纤维加强聚合物叶片根部,叶片根部 209 的直径可以减小,这相应地允许减小变桨轴承和毂 110 的尺寸。

[0034] 如图 7 中所示,叶片根部 702 具有从叶片端部 701 至螺栓圆直径端部 703 的 2.3 米的相对恒定的外直径。在研究中,具有 2.3 的螺栓圆直径 (BCD) 的常规叶片根部的玻璃纤维加强聚合物用碳加强聚合物代替,以形成相同尺寸和配置的叶片根部。转子叶片沿着叶片的长度加载襟翼负荷 (flap load)。对于襟翼负荷,发现碳纤维加强聚合物叶片根部上的叶片根部应变在容许应变极限内。已发现碳加强聚合物叶片根部中的接头螺栓的疲劳储备因数 (fatigue reserve factor) 是上述的常规玻璃纤维加强聚合物叶片根部中的接头螺栓的大约两倍。因此,碳纤维加强聚合物叶片根部的储备裕度增加的设计选择允许减小叶片根部的尺寸和 / 或减小螺栓接头的数量。

[0035] 如图 7 中所示,在一个实施例中,2.3 米螺栓圆直径玻璃纤维加强聚合物叶片根部 702 用碳加强聚合物叶片根部 704 代替,所述碳加强聚合物叶片根部 704 具有 2.3 米的叶片端部或翼型端部 706 和 1.8 米直径的螺栓圆直径 708。尽管为了在本说明书中描述,叶片端部 706 和螺栓圆端部 708 的直径的尺度将分别被描述为 2.3 米和 1.8 米,但是在备选实施例中,叶片端部 706 的直径可以在大约 1.8 至 2.3 米之间变化,而螺栓圆端部 708 的直径可以在大约 1.5 至 1.85 米之间变化。螺栓圆端部 708 与叶片端部 706 的直径的比率在大约 0.75 至 1.0 的范围内。

[0036] 如图 7 中所示,碳加强聚合物叶片根部 704 包括在螺栓圆端部 708 和翼型端部 706 之间的锥形部分 712。在一个实施例中,叶片根部 704 具有 1718mm 的长度。在一个实施例中,将附加的 100 千克 (大约 3-5% (重量)) 的玻璃材料加入螺栓圆端部 708 和锥形部分 712 之间的过渡部分 710 中以提供更好的弯曲和剪切传递。将大约 3-5% (重量) 的单向纤维加入锥形部分 712。如图 7 中所示,螺栓圆端部 708 和过渡部分 710 的远端之间的距离为 300mm。在该例子中,碳加强聚合物叶片根部 704 中的接头螺栓具有大于所需储备因数的疲劳储备因数。疲劳储备因数优选地在 1.00 至 1.60 的范围内。因此,通过在 2.5 兆瓦涡轮机中使用碳加强纤维聚合物叶片根部,螺栓圆端部 708 的直径可以从 2.3 米减小到在 1.5 至 1.85 米之间变化的直径。这导致更小直径的变桨轴承和减小尺寸的毂,以实现成本节省。据估计具有 1.8 米螺栓圆直径的碳加强纤维叶片根部的 2.5 兆瓦涡轮机的成本介于

具有 2.3 米螺栓圆直径叶片根部的 1.5 兆瓦和 2.5 兆瓦涡轮机的成本之间。由碳加强聚合物叶片根部 704 实现的更小尺寸和重量也将减小与涡轮机相关的物流成本。

[0037] 参考图 3, 叶片根部 209 的壁厚度 310 沿着叶片根部 209 的圆周大致恒定。在一个实施例中, 叶片根部 209 的壁厚度 310 为 100mm, 其沿着叶片根部 209 的长度大致恒定。在其它实施例中, 例如在图 7 所示的实施例中, 其中碳加强聚合物叶片根部 704 从端部 708 处的 1.8 米螺栓圆直径渐变到端部 706 处的 2.3 米直径, 壁厚度 310 可以变化。例如, 参考图 2 和 7, 在一个实施例中, 其中叶片 108 是 48.7 米叶片, 长度  $l = 50,000\text{mm}$  指的是从毂中心至叶片尖端 207 的长度, 包括 1.282 米的毂长度。在该例子中, 在毂中心处长度  $l = 0$  并且在叶片根部端部 210 处  $l = 1282\text{mm}$ 。对于图 7 中所示的 2.3 米 GFRP 叶片根部 702, 沿着叶片根部 702 的长度的壁厚度变化大致如下:

	l (mm)	厚度 (mm)
[0038]	1282	100
	1582	100
	2682	56
	3000	56

[0039] 在  $l = 1282\text{mm}$  至  $1582\text{mm}$  之间的壁厚度为大约 100mm (即, 该部分具有大致恒定的壁厚度)。壁厚度变化在  $l = 1582\text{mm}$  至  $l = 2682\text{mm}$  之间是大致线性的, 从大约 100mm 减小到大约 56mm。在  $l = 2682\text{mm}$  至  $l = 3000\text{mm}$  之间的壁厚度为大约 56mm (即, 该部分具有大致恒定的壁厚度)。

[0040] 在图 7 中所示的 1.8 米 CFRP 叶片根部 704 中, 在  $l = 1282\text{mm}$  至  $1582\text{mm}$  之间的壁厚度也为大约 100mm (即, 过渡部分 710 具有大致恒定的壁厚度)。在  $l = 2682\text{mm}$  处, 壁厚度为大约 58mm, 随着在  $l = 1582\text{mm}$  至  $l = 2682\text{mm}$  之间的线性变化, 壁厚度从大约 100mm 减小到大约 58mm。在  $l = 2682\text{mm}$  至  $l = 3000\text{mm}$  之间的壁厚度为大约 56mm (即, 该部分具有大致恒定的壁厚度)。

[0041] 大体上将理解, 尽管以上描述关于风力涡轮机的某些尺度, 但是本说明书中所使用的尺度仅仅是示例性的, 并且可以在期望应用中使用任何合适的侧面机件 (side part) 以获得期望的功率输出。在海洋或水下应用中, 可以使用类似尺度。例如, 在一些情况下, 对于类似的功率或发电机输出, 水下涡轮机的转子直径可以小于风力涡轮机的转子直径。作为例子, 1 兆瓦水下涡轮机的转子直径可以在大约 18-20 米的范围内。

[0042] 图 8 是示例性水下涡轮机系统 800 的示意图, 该术语在本说明书中大体上进行定义。如图 8 中所示, 水下涡轮机 802 位于水体 804 中, 所述水体例如可以包括河流、海洋或湖泊。涡轮机 802 通常安装或固定到海床 806。在图 8 的例子中, 涡轮机 802 包括机舱 102 和转子 106。机舱 102 是安装在塔架 104 的顶部上的外壳。尽管图 8 中的例子显示机舱 102 安装在塔架 104 的顶部上, 但是在备选实施例中, 机舱 102 可以安装在任何合适的水下支撑



结构之上或之中。机舱 102 包括布置在其中的发电机（未显示）。塔架 104 的高度基于本领域中已知的因素和条件进行选择，并且可以延长到高达 60 米或以上的高度。转子 106 包括附连到可旋转毂 110 的一个或多个涡轮机叶片 108。在该示例性实施例中，流体涡轮机 100 包括三个涡轮机叶片 108。

[0043] 因此，尽管已显示、描述并且指出应用于本发明的示例性实施例的本发明的基本新颖特征，但是将理解，本领域的技术人员可以在所示装置的形式和细节以及在它们的操作方面进行各种省略和替代以及变化而不脱离本发明的精神。而且，明确的意图是以大致相同的方式执行大致相同的功能以获得相同结果的那些元件和 / 或方法步骤的所有组合在本发明的范围内。而且，应当认识到，结合本发明的任何所公开的形式或实施例而显示和 / 或描述的结构和 / 或元件和 / 或方法步骤可以作为一般设计选择而包含在任何其它已公开的或已描述的或已建议的形式或实施例中。所以意图是仅仅由于此附带的权利要求的范围进行限制。

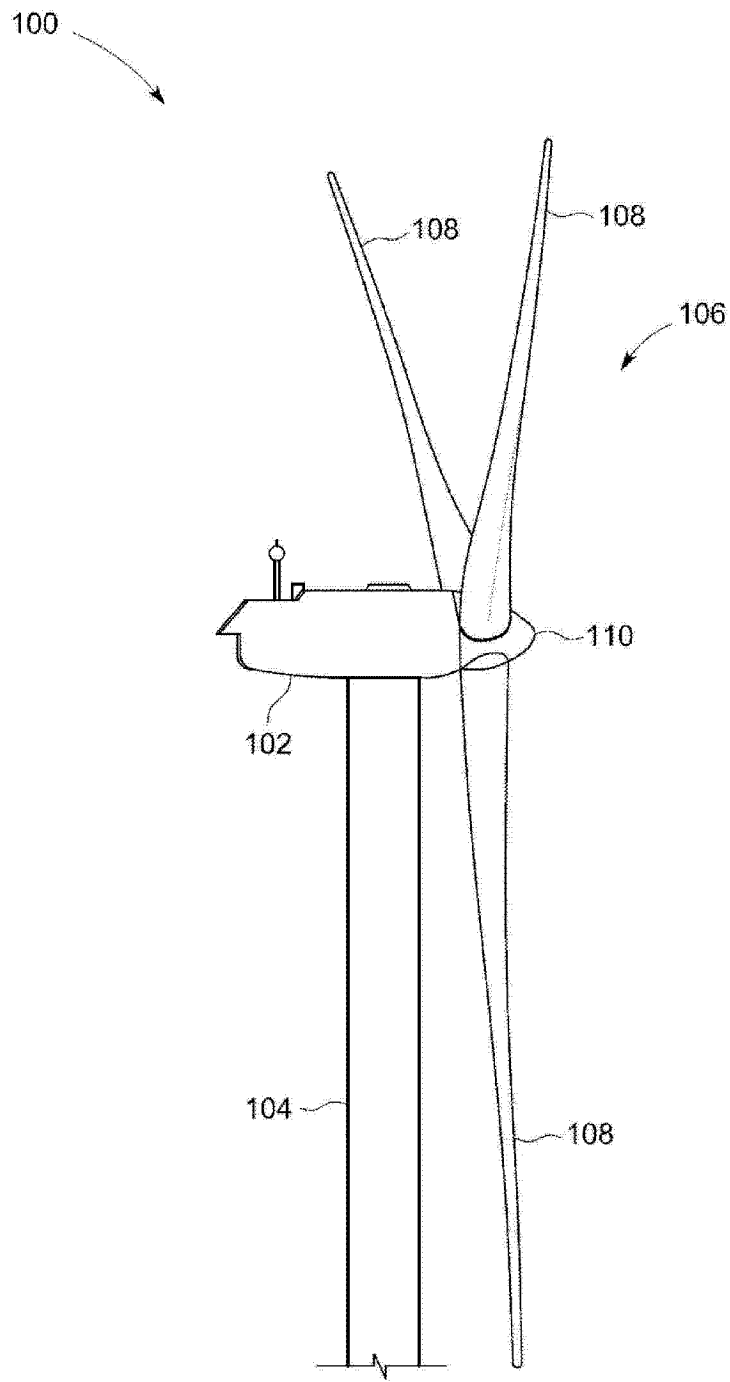


图 1

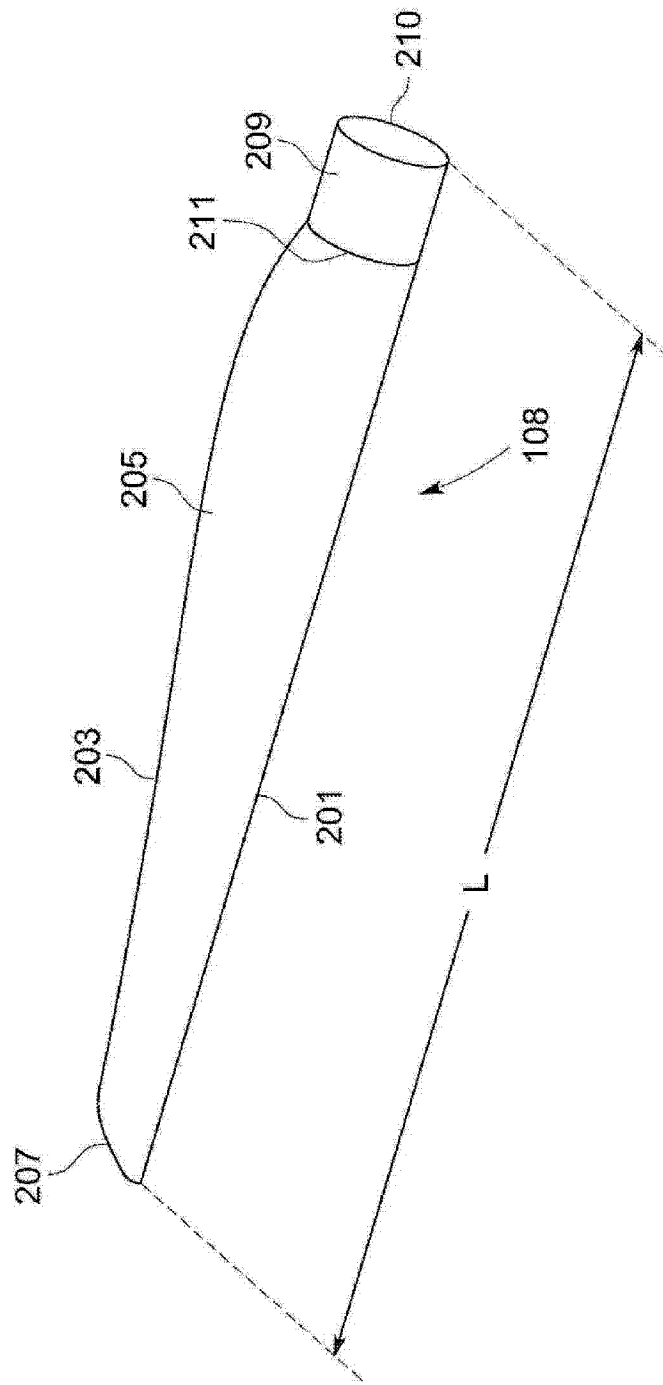


图 2

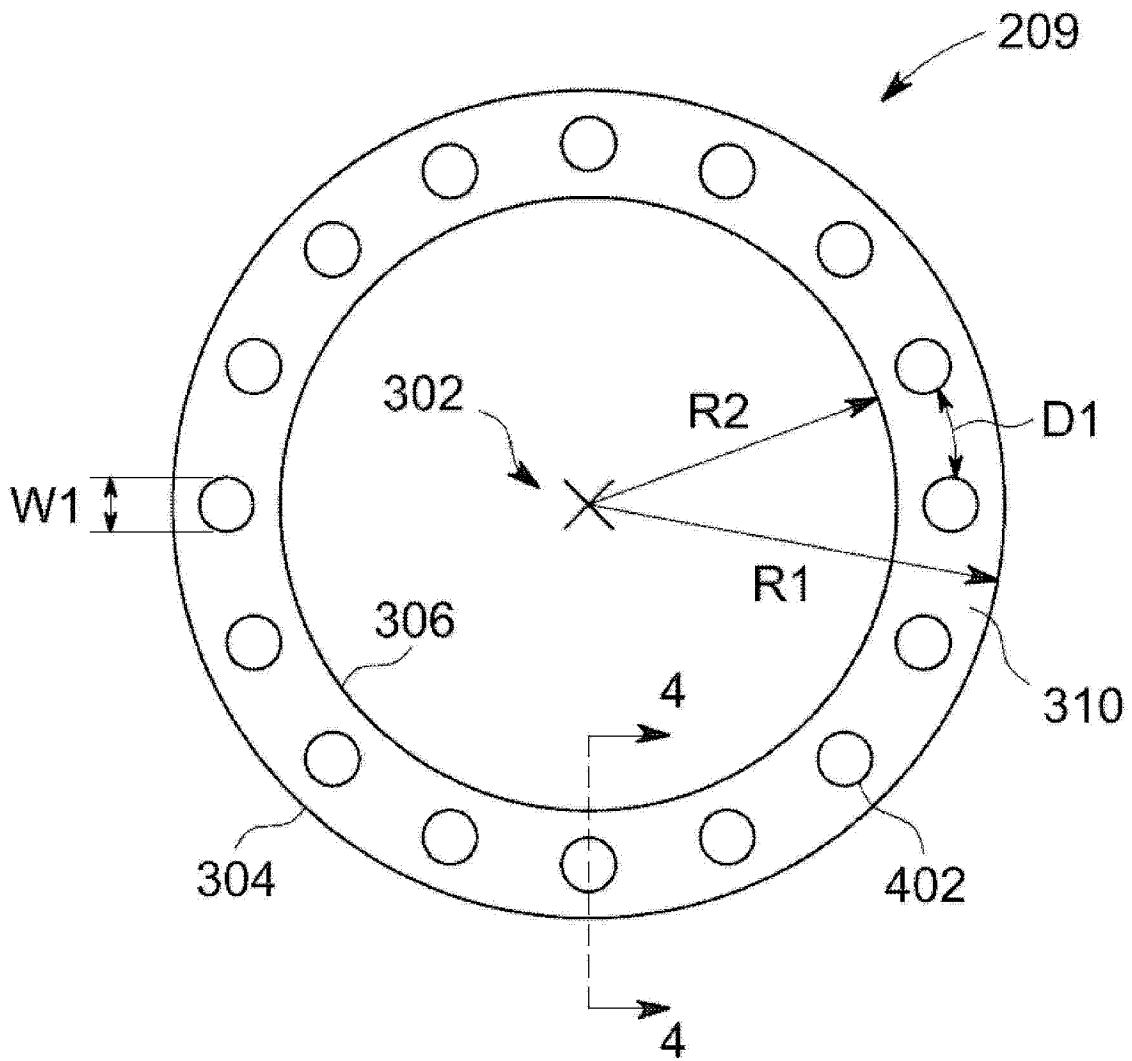


图 3

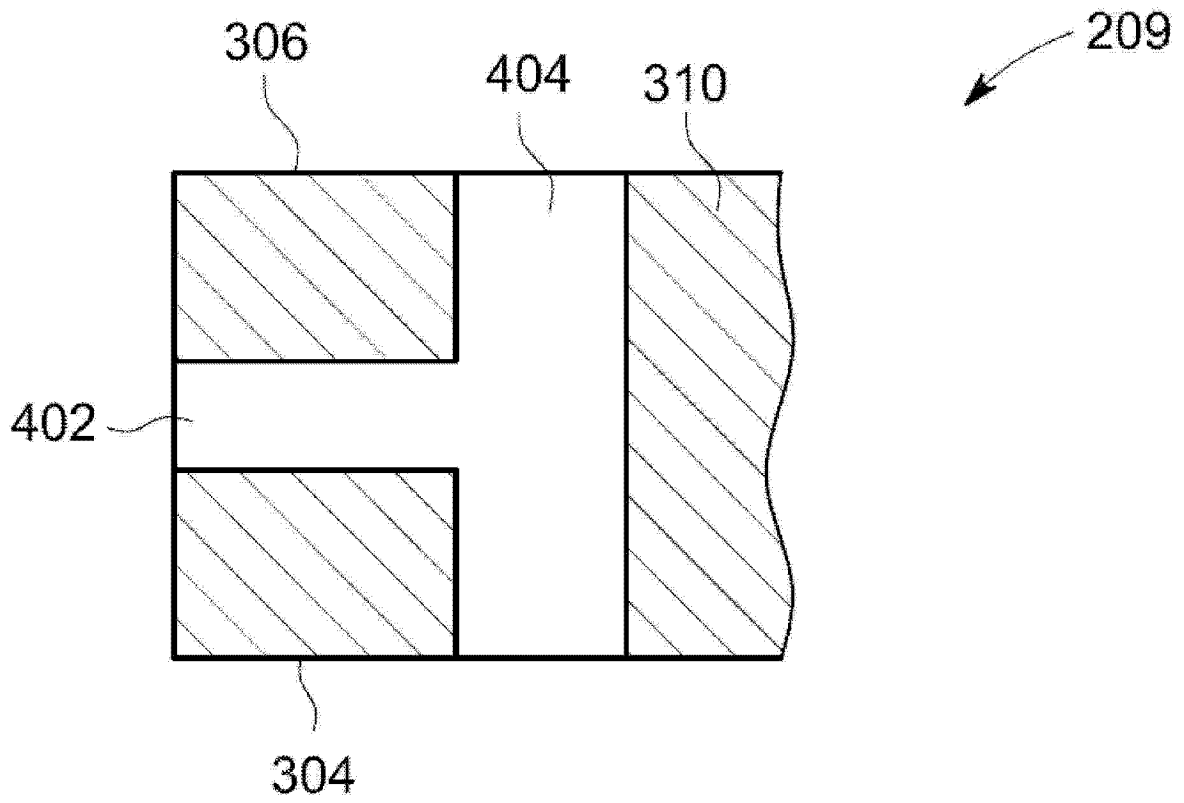


图 4

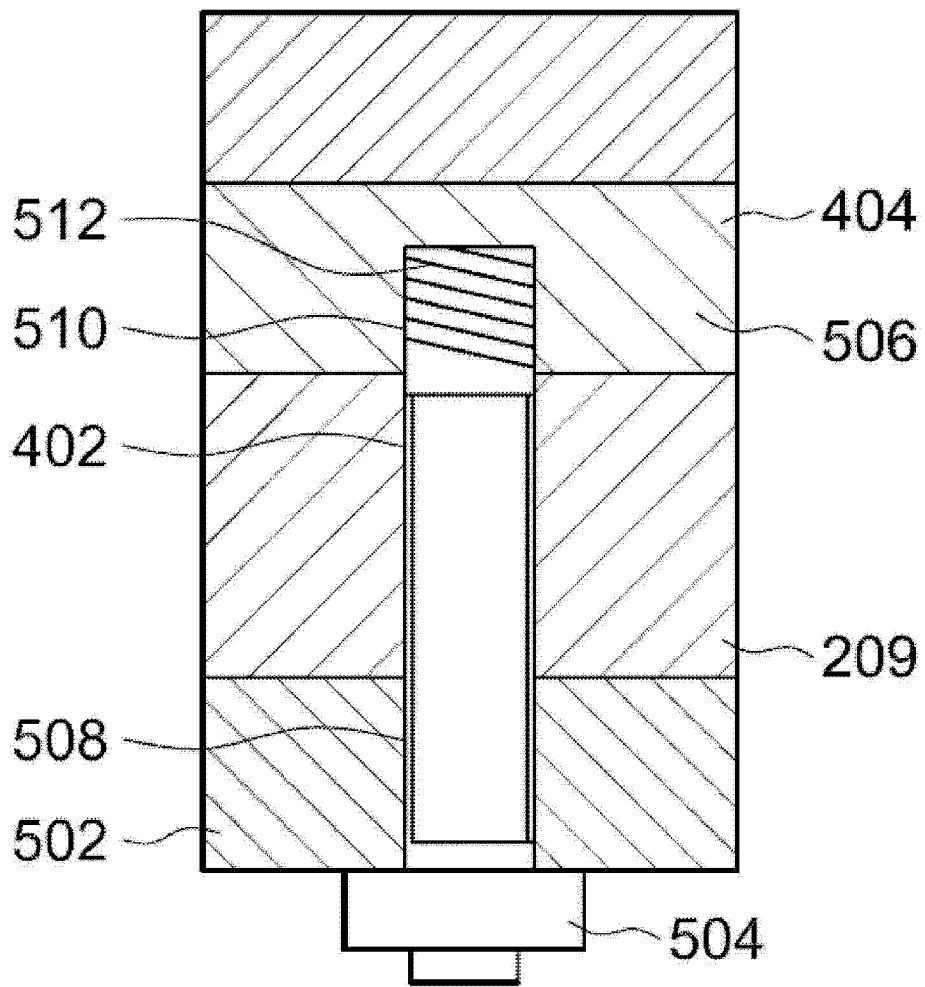


图 5

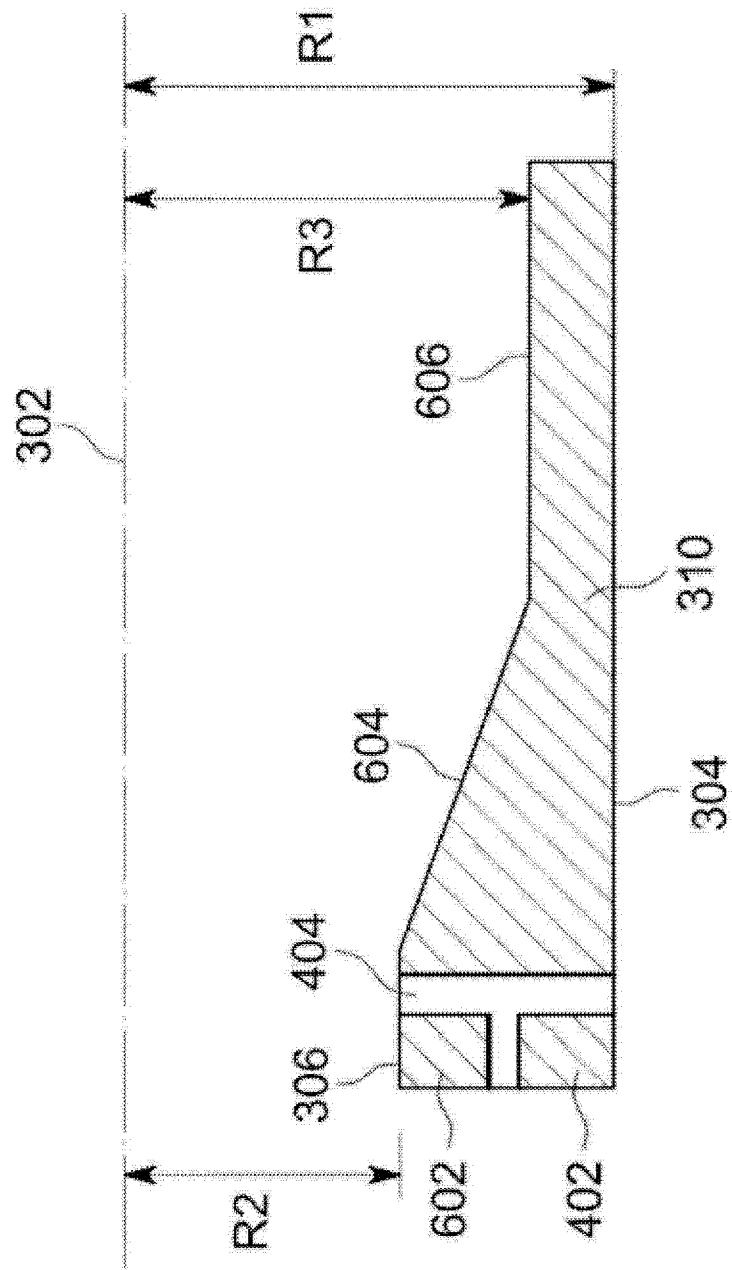


图 6

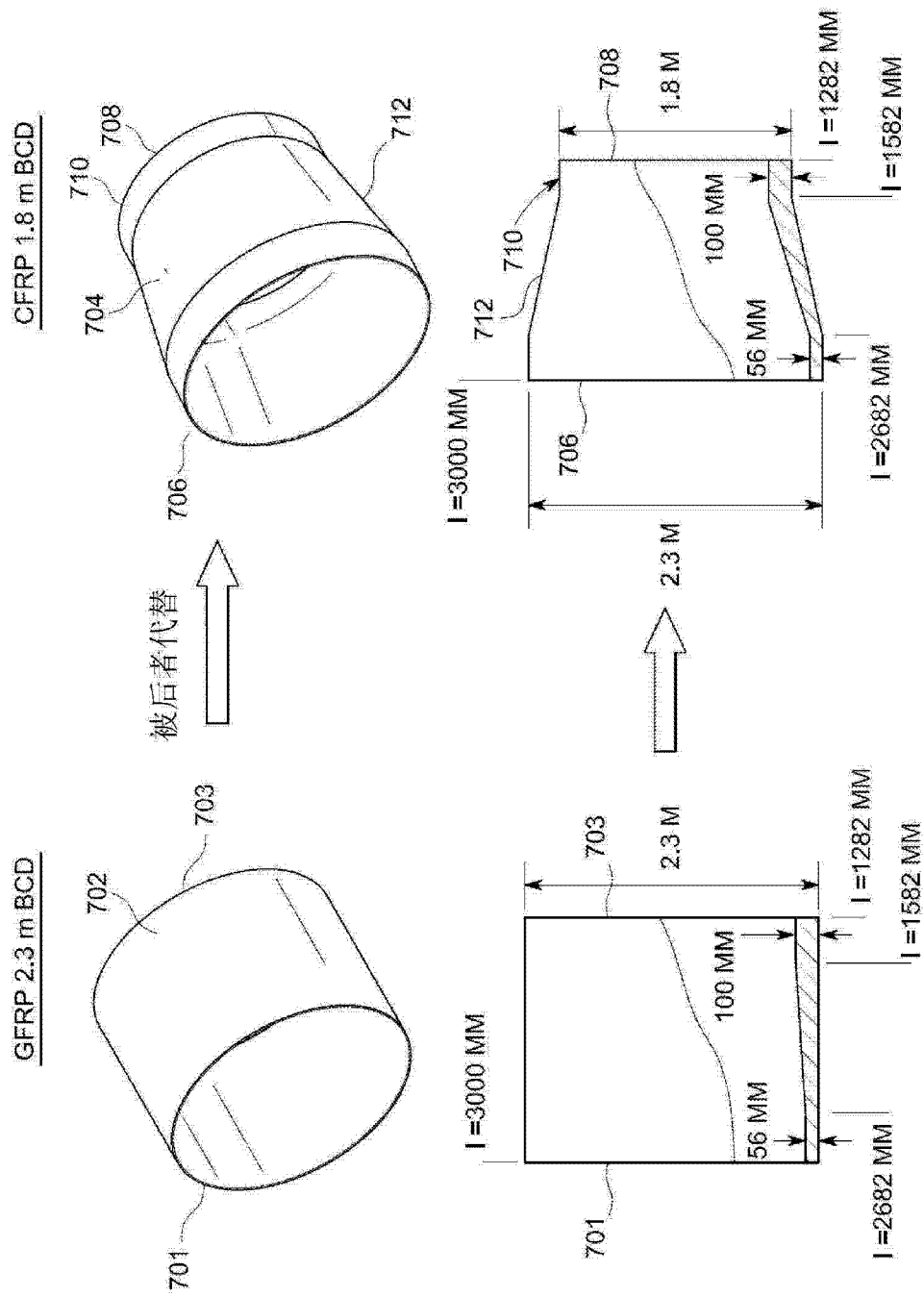


图 7



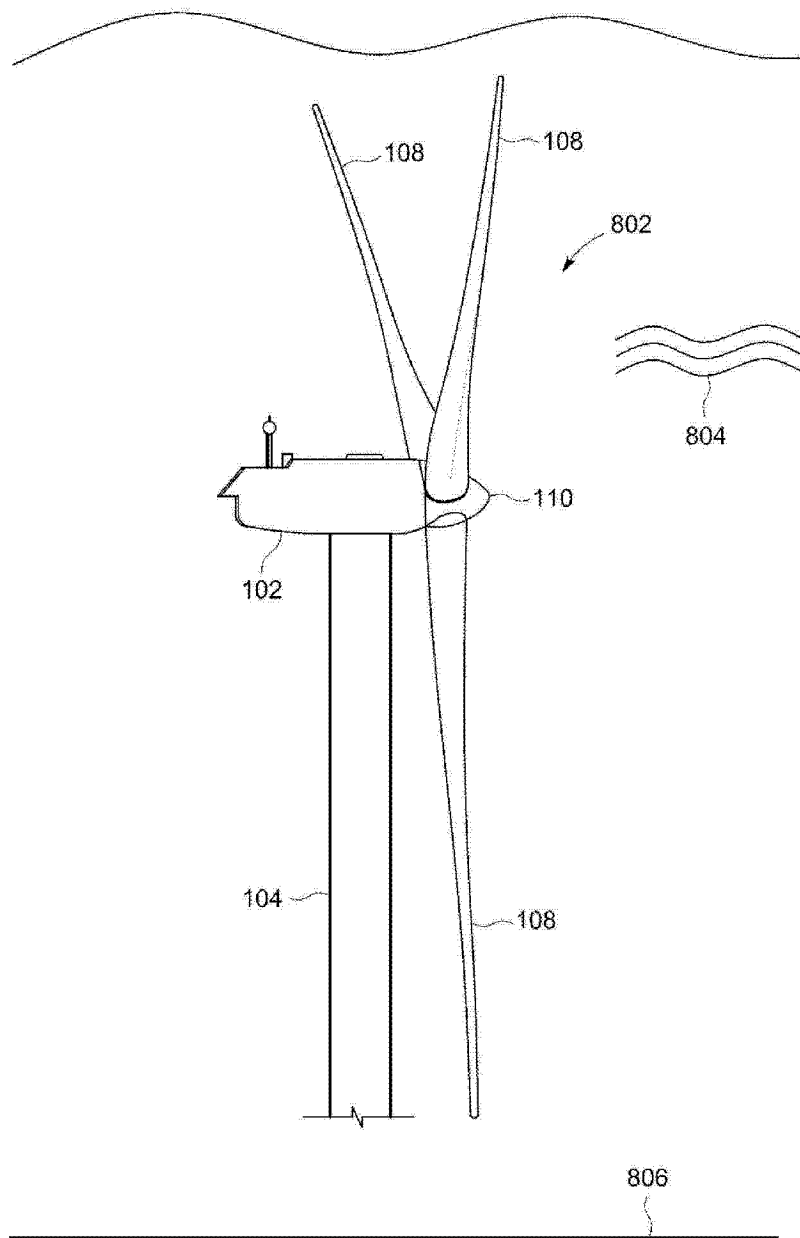


图 8