

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

F03D 11/00

F03D 1/06

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99814143.7

[43] 公开日 2002 年 1 月 2 日

[11] 公开号 CN 1329696A

[22] 申请日 1999.12.9 [21] 申请号 99814143.7

[30] 优先权

[32] 1998.12.9 [33] DE [31] 29822003.2

[32] 1999.6.28 [33] DE [31] 19929386.4

[32] 1999.10.1 [33] DE [31] 19947211.4

[32] 1999.10.25 [33] DE [31] 19951346.5

[86] 国际申请 PCT/EP99/09691 1999.12.9

[87] 国际公布 WO00/34651 德 2000.6.15

[85] 进入国家阶段日期 2001.6.6

[71] 申请人 阿洛伊斯·沃本

地址 德国奥里希

[72] 发明人 阿洛伊斯·沃本

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

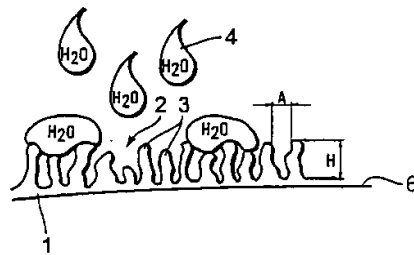
代理人 程伟

权利要求书 3 页 说明书 5 页 附图页数 3 页

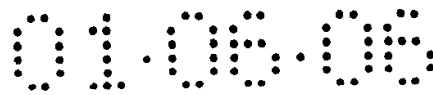
[54] 发明名称 一种风力发电设备的转子叶片

[57] 摘要

已知有多种形式的风力发电设备的转子叶片。在风力发电设备上，转子或者转子叶片是主要的噪音源。由于承诺及噪音防护的原因，应当或必须采取措施，使噪音排放尽可能少。这是因为风力发电设备也常设置在居民楼附近。目前风力发电设备或风能转换设备带来的噪音排放常导致社区居民因噪音问题而反对安装风力发电设备，因而使风力发电设备安装遇到一些困难或根本无法安装，因为授权机构常因环境污染 - 噪音也是一种环境污染因素 - 而拒绝批准安装风力发电设备。本发明的目的在于进一步改善风力发电设备的噪音排放。一种风力发电装置上的转子叶片，其上采用了可降低因转子叶片引起的噪音的结构，所述结构是通过在转子叶片的至少部分表面上涂敷一不粘液体的涂层和/或表面构成的。



ISSN 1008-4274



## 权 利 要 求 书

---

1. 一种风力发电装置上的转子叶片,其上采用了可降低转子叶片引起的噪音的结构,其中所述结构是通过在转子叶片的至少部分表面上涂敷一不粘液体的涂层和/或表面构成的。

2. 如权利要求 1 所述的转子叶片,其特征在于,所述不粘液体的涂层至少涂敷在当转子叶片转动时产生噪音的主要部位。

3. 一种风力发电装置上的转子叶片,其上至少有部分涂层,其使转子叶片的微观结构产生相当大的不平整度,以至于水滴不能停留在转子叶片的表面上,所以在转子叶片的表面上不会保存水滴和/或冰粒(冰晶),由此降低了风力发电装置工作时转子叶片产生的噪音。

4. 一种风力发电装置的转子叶片,其特征在于,其表面上至少有部分涂层,使转子叶片表面上有涂层区域的硬度小于没有涂层的区域。

5. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片,其特征在于,所述涂层是一个由凸头与沟槽组成的表面结构,各个凸头之间的间距为 2 至 250 $\mu\text{m}$ ,凸头的高度为 2 至 250 $\mu\text{m}$ ,凸头最好由疏水聚合物或稳定的疏水材料制成,其不会被自然雨水溶解。

6. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片,其特征在于,所述的疏水层为一个类似于“鲨鱼皮”结构的表面。

7. 如权利要求 8 所述的转子叶片,其特征在于,转子叶片有一个壁表面,其上有具有气流主方向的气流涡旋,其上有沿主气流方向取向的且在主气流方向间隔开的肋,其高度约为侧向肋间距的 30%至 70%。

8. 如权利要求 9 所述的转子叶片,其特征在于,所述肋为楔形,其斜角约为 10° 至 60°。

9. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片, 其特征在于, 标准侧向肋间距用如下公式测量:

$$s^+ = (s/ny) * \sqrt{(\tau_{00}/\rho)}$$

其值为 12 至 22, 其值为 12 至 22。其中,  $s$  为肋间距,  $\tau_{00}$  为一个承受相同的气流的平滑参考平面的壁板应力,  $\rho$  为流体的密度,  $ny$  为流体的动力性粘度。

10. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片, 其特征在于, 标准肋间距  $s^+$  适合于转子叶片的周向速度且最好适合于转子叶片末端区的周向速度 (正常运转的情况下)。

11. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片, 其特征在于, 侧向肋间距  $s$  约为 0.001 至 0.15mm。

12. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片, 其特征在于, 所述肋的侧向连接最大的曲率半径为侧向肋间距  $s$  的 5 至 35%。

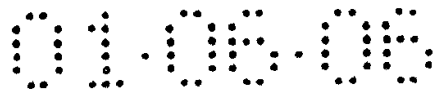
13. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片, 其特征在于, 在两肋之间的表面有一个曲率半径, 其至少等于两肋之间间距的 100%, 最好是 200%至 400%。

14. 如上述权利要求任意一项所述的转子叶片, 其特征在于, 在转子叶片的局部区域, 最好是转子叶片的前端涂有一层防腐漆, 其具有类似特氟隆的表面特性。

15. 如权利要求 16 所述的转子叶片, 其特征在于, 所述防腐漆为一种可承受溶剂的、两组份的聚氨酯漆。

16. 包括如上述权利要求任意一项所述的转子叶片的风力发电装置。

17. 一种风力发电装置包括一个至少具有一个转子叶片的转子、一个塔架和一个防护罩(吊舱),该防护罩包围着风力发电设备的发电机,其中上述元件,如转子叶片、塔架(内侧或外侧)和/或防护罩(吊舱)中至少一件上涂敷有如上述权利要求任意一项所述的疏水层,该层至少涂敷在上述元件如转子叶片、塔架(内侧或外侧)及/或防护罩(吊舱)的部分表面上。



## 说 明 书

### 一种风力发电设备的转子叶片

已知的风力发电设备的转子叶片有多种形式。在风力发电设备上，转子或者转子叶片是主要的噪音源。由于承诺及噪音防护的原因，应当或必须采取措施，使噪音排放尽可能少。这是因为风力发电设备也常设置在居民楼附近。目前风力发电设备或风能转换设备带来的噪音排放常导致社区居民因噪音问题而反对安装风力发电设备，因而使风力发电设备安装遇到一些困难或根本无法安装，因为授权机构常因环境污染—噪音也是一种环境污染因素—而拒绝批准安装风力发电设备。

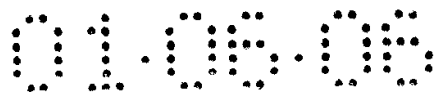
人们业已提出许多建议，用以改进风力发电设备转子叶片的结构，从而降低噪音。例如在 EP-A-0 652367 或 DE 196 14 420.5 中所公开的方案。

不过，通过对转子叶片的结构所采取的措施降低噪音的可能性仍然十分有限。

本发明的目的在于进一步改善风力发电设备的噪音排放。

本发明的目的是通过采用具有权利要求 1 特征的转子叶片而实现的。

本发明基于这样一种认识，如果在转子叶片至少一部分涂敷不粘水和/或不粘冰的涂层，转子叶片会更加粗糙。也就是说，在转子叶片上加上一层涂料层，其效果不是象原本希望的获得表面最大的光滑度，相反，从微观结构上说，表面更加粗糙。已知这种表面也可以由漆层或其他涂层构成，其可获得所谓的“洛特斯效应”的功能，使水/冰仅能较弱地附着在该表面上。这里，所述的由涂色层构成的涂层形成一种毫微级的凸头床。凸头床上的凸头不仅使转子叶片表面粗糙，而且使表面硬度降低。这是因为各个毫微级凸头在其纵向上也会变形，因而使其结构明显弱于转子叶片的玻璃纤维层。



由于转子叶片上的“洛特斯”层的影响，在转子叶片表面形成的涡流因表面较低的硬度而得到衰减，或消耗了空气涡流的能量，由此从总体上一如预期的那样—降低了在转子叶片转动时产生的噪音。

微硅酮涂料“Lotusan”（Dyckerhoff 集团的分支机构，ispo 有限公司的商标）可在实际中作为自清洁层或涂层用于使转子叶片噪音明显降低。这种微硅酮涂料的公司销售产品号为 1950 并被描述具有不粘污物不粘水功能。该层也可以通过表面结构构成不粘水层形成的薄层或薄膜制成。在 EP 0772 514 中也公开了自清洁表面（以及制造方法）。

以下将借助于附图 1 和 2 举例说明本发明。

图 1 表示了带有转子的风力发电设备，其上安装有三个转子叶片 10。在图 1 中表示了 Enercon 公司的 E-40 型风力发电设备。

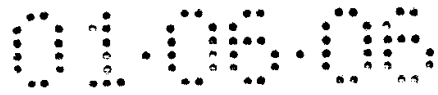
图 2 为转子叶片横截面的剖面图。从图中可见，在表面上有一涂层 1 或覆盖层，其构成包含“毫微凸头”3 的凸头床 2。毫微凸头之间的距离 A 大约为 2 至 250 $\mu\text{m}$ 。毫微凸头的高度 H 大约为 2 至 250 $\mu\text{m}$ 。毫微凸头是由诸如疏水聚合物或稳定的疏水材料构成的。若毫微凸头的高度为 5 至 60 $\mu\text{m}$ ，毫微凸头之间的距离为 5 至 110 $\mu\text{m}$ ，则消除由转子叶片产生的噪音的效果特别好。

由微硅酮涂料（如“Lotusan”）形成的转子叶片的涂层还可以获得这样的效果，即使得水(H<sub>2</sub>O)或其他液体不会保持粘附在转子叶片的表面上。由此也可排除从前方进入叶片底部的冰料。

涂层最好不是在转子叶片的整个表面涂覆，而是涂覆转子叶片的后三分之一的区域（从转子方向看）内。最好该区域位于转子叶片末端或转子叶片的后端和前端边。

由于毫微凸头 3 的存在，转子叶片的表面获得了相当大的不规则度和粗糙度，使得水滴 4（分子）与转子叶片表面之间的质量引力不足以使水分子保持附着在该表面上。毫微凸头使得非水分子相对转子叶片表面 6 保持一定间距，从而大大减小了水分子与所述表面之间的引力。

同时，毫微凸头 3 对于降低噪音起着类似“（噪音）震动衰减器”的作用。其原因在于，当自然地形成于转子叶片表面且对产生噪音具



有影响的涡流（图中未示）遇到毫微凸头时，由于毫微凸头与叶片的刚性玻璃纤维结构相比具有较大的移动性，从而可以吸收涡流的能量，进而消耗掉空气涡流的能量，由此降低噪音。

所述涂层可以由涂覆的涂料或粘贴薄膜或薄层构成。

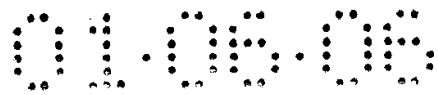
所述涂层不仅可以设置在转子叶片上或其部件上，也可以设置在风力发电设备的其他部件上，例如在风力发电设备的塔架 7 上和/或在防护罩 8 上。该防护罩—通常也称之为吊舱—设置在塔架的顶部，通常包围着风力发电设备的发电机或其他部件，使其不直接暴露对周围环境产生影响。所述涂层不仅可以设置在塔架、转子叶片和/或防护罩的外部，也可以设置在其内部。为此，最好是在其内侧和/或外侧设置滴液槽（图中未示）。通过该滴液槽可以捕获、收集并有控制地排出从诸如塔架和/或防护罩上流下来的水。这种槽最好设置在塔壁上并相对于塔架的纵向轴线基本垂直（或略微倾斜）。被捕获的液体通过一个与其连接的落水管排出。

降低噪音产生的方案还有与上述结构不同的或对上述方案补充的方案。例如转子叶片具有“鲨鱼皮”式的特殊表面。该表面通过薄层或薄膜涂层形成。这种薄膜或薄层可采用诸如 3M 公司销售的、型号为 3M 8691 的抗拉磁带（Riblet 带）。这种薄膜或薄层是航空工业部门研制的，其目的是，通过这种特殊的“鲨鱼皮”表面节约飞机的燃料。

这种“鲨鱼皮”薄膜结构是已知的，例如从 Dittrich W. Bechert（德国航空航天（DLR）研究中心涡轮装置研究部）的出版物中。这种“鲨鱼皮薄膜”结构也详细地公开在 EP 0846 617, DE-C-36 09 541 或 DE-C-34 14 554 中。为避免重复，上述文献中的内容也作为本申请的内容。

由于飞机上的噪音主要取决于发动机，因而不能减少由飞机产生的噪音，特别是由飞机上的空气动力部件（翼面）产生的噪音水平处于听力阈值之下，因而不能觉察到。

德国航空航天（DLR）研究中心涡轮装置研究部在柏林大学的工程师们，在 Dittrich W. Bechert 博士的领导下，根据鲨鱼皮原理研制成了一种薄膜（在一个相应的表面下）。在这样一种“鲨鱼皮”薄膜上，薄膜的表面有若干沿气流方向延伸的细槽 11。这些槽不是连通的，而



是如图 3 所示，被框线（鱼鳞片）12 断开，各框线相互错开。在图示的实例中，一个“鱼鳞片”中有 5 个槽 11，各槽的长度互不相同，且其纵向垂直于（或平行于）风力发电设备的转子叶片的半径  $r$ 。在这种情况下，槽 11（或肋）的高度  $H$  是槽间距  $s$  的 30% 至 70%，槽（或肋）最好为楔形，其斜角约为  $5^\circ$  至  $60^\circ$ 。

鲨鱼皮薄膜表面上横肋之间的标准间距用如下公式计算： $s^+ = (s/ny) * \sqrt{(\tau_{ao_0}/\rho_0)}$ ，其值为 12 至 22。其中， $s$  为侧向肋间距， $\tau_{ao_0}$  为一个承受相同的气流的平滑参考表面的壁板应力， $\rho_0$  为气流介质（空气）的密度， $ny$  为气流介质（空气）的动力性粘度。在这种情况下，标准的肋间距  $s^+$  最好是在风力发电设备的转子叶片的周向速度（或角速度）为额定值的情况下调整。最好在转子叶片末端或末端区域（大约为转子叶片长度的 5% 至 25%）的周向速度范围内调整。

槽间距  $s$  在这种情况下约为 0.001 至 0.15mm。

在整个转子叶片的表面上也可以采用不同槽间距和/或不同的鱼鳞片间距的表面结构，使得标准槽间距的调整总能适应在额定工况下转子的向周速度。

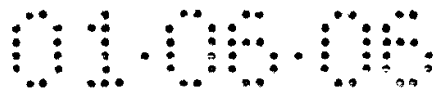
肋的侧向连接最好有一个曲率半径，其最大为肋间距  $s$  的 50%，最好为其 20%。

作为一种优选方案，鲨鱼皮薄膜的表面，在两肋之间，有一个曲率半径，其至少等于侧向肋间距的 200%。图 4 表示了一个放大的横截面图。

起初的试验表明，具有上述鲨鱼皮薄膜（因而也具有上述相应结构的表面）的转子叶片的转子所产生的噪音大约可降低 0.2 至 3dB（与周向速度和风力情况有关）。

一种对上述降低噪音措施的改变或补充方案是，在转子叶片的局部区域，特别是转子叶片的前端涂一层防腐漆或防腐涂料。这种防腐漆可以采用诸如一种可承受溶剂的、两组份的聚氨酯漆，其具有类似特氟隆的表面特性。迄今人们在转子叶片的前端粘贴防腐薄膜或薄层，用以防止因灰尘颗粒/雨滴/冰雹等产生的对转子叶片前端的腐蚀。粘贴这种薄膜非常复杂和麻烦且需要极为小心，以防工作时早期脱落。尽管已经十分小心，但粘贴上的薄膜还总会脱落，在某些情况下，这将





进一步提高工作中的噪音水平。在任何情况下，这都会提高维修费用，因为需要将脱落的薄膜部分（薄膜颈部）重新固定到转子叶片上或贴一层新的薄膜。

Coelan 公司提供的一种光滑的密封胶型号为 VP 1970M，适合作为一种防腐漆，可以消除已知防腐薄膜的缺点。这包括一种可承受溶剂的、两组份的聚氨酯漆，其具有类似特氟隆的表面特性，其特性参数如下：

固体含量： 组分 A： 约为 60%  
                  组分 B： 约为 5%  
                  混合物： 约为 32%

燃点： -22℃

密度： 组分 A： 1.11 g/cm<sup>3</sup>(20℃)  
          组分 B： 0.83g/cm<sup>3</sup>(20℃)

粘度： 组分 A： 约 80s DIN 4(23℃)  
          组分 B： <10s DIN 4(23℃)

加工时间： 在密封容器里约 16 小时

成膜时间： 约 30 分钟（20℃；50%的相对空气湿度下）

失粘时间： 约 2 小时后（20℃；50%的相对空气湿度下）

完全干燥时间： 约 96 小时（20℃；50%的相对空气湿度下）

冲击硬度： 147 秒（根据皇家标准；DIN53157）

快速风化： 2350 小时 UV-A, 用 Q 板仪器  
                  (QUV 试验) 2430 小时 UV-B, 用 Q 板仪器

混合比例： 组分 A： 100 份重量

                  组分 B： 100 份重量

这种漆是为造船业研制的，但至今还没有用在转子叶片上用来减少噪音，这种漆是十分有利的，因为它能代替已知的防腐薄膜并可以解决其存在的问题。

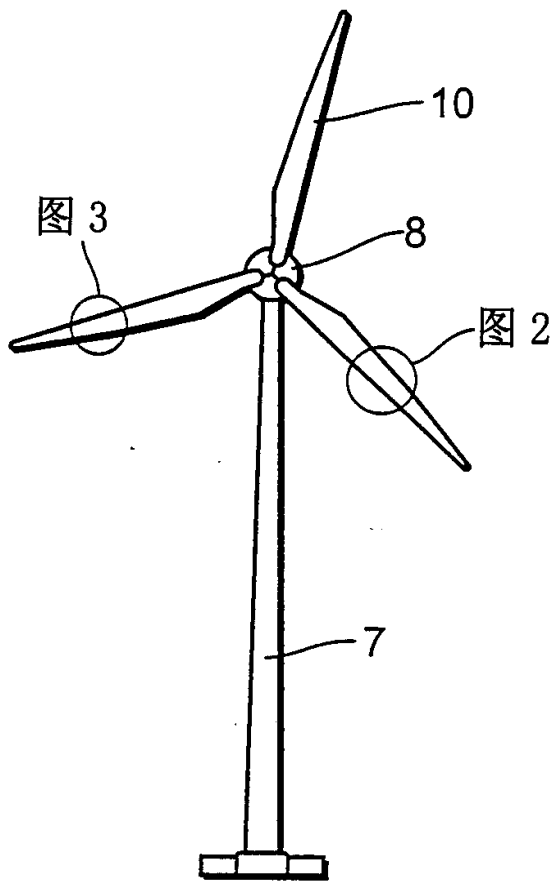


图 1

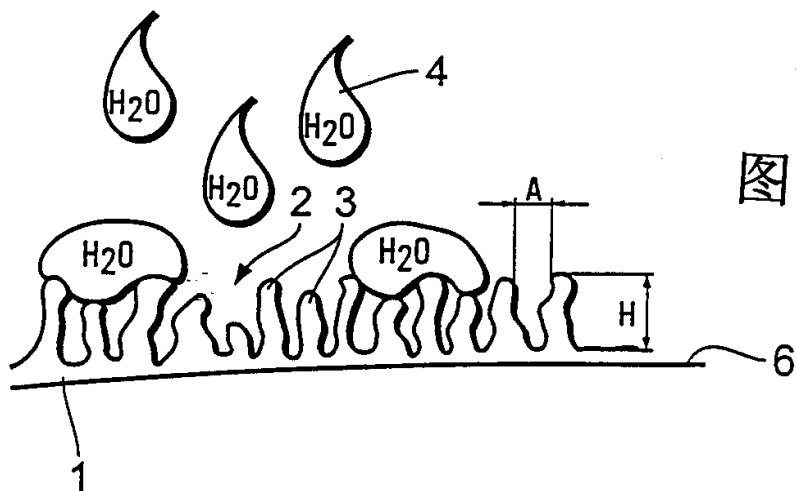


图 2

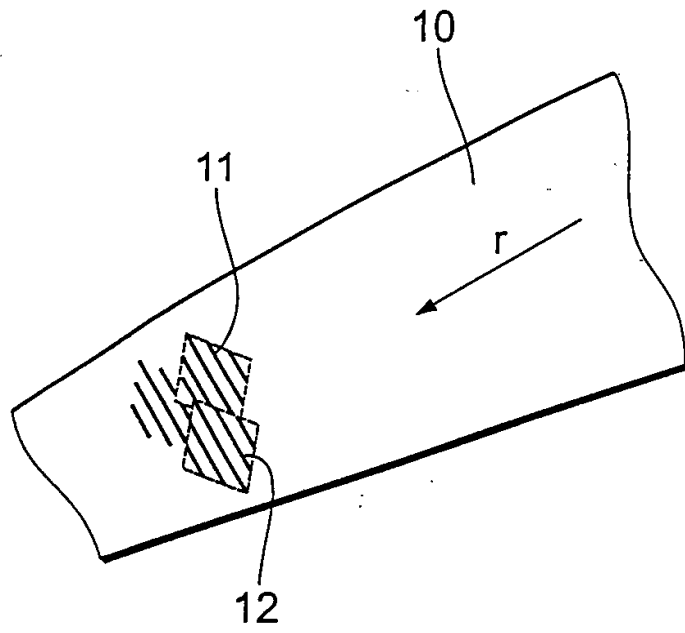


图 3

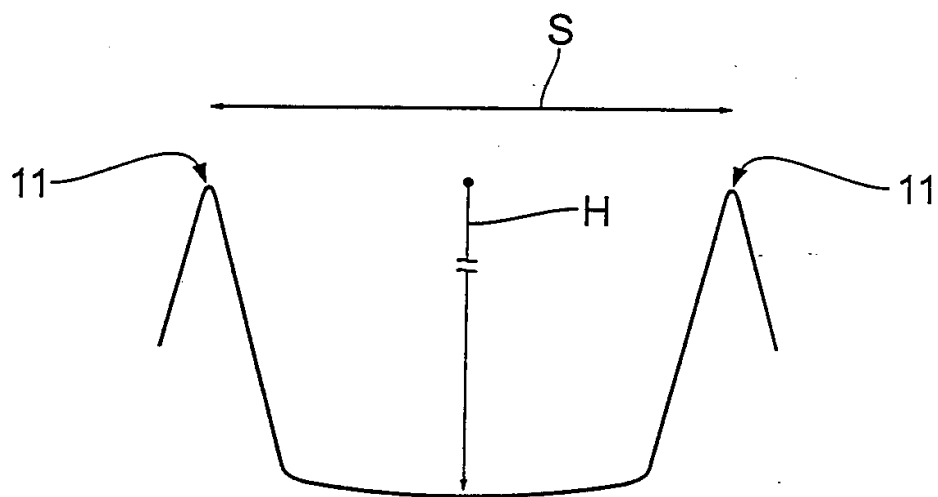


图 4