



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108603486 B

(45) 授权公告日 2020.12.22

(21) 申请号 201780008228.7

(22) 申请日 2017.01.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108603486 A

(43) 申请公布日 2018.09.28

(30) 优先权数据
102016201114.6 2016.01.26 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.07.25

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2017/051673 2017.01.26

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/129691 DE 2017.08.03

(73) 专利权人 乌本产权有限公司

地址 德国奥里希

(72) 发明人 亚历山大·霍夫曼

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 张春水 丁永凡

(51) Int.Cl.
F03D 1/06 (2006.01)

审查员 张人天

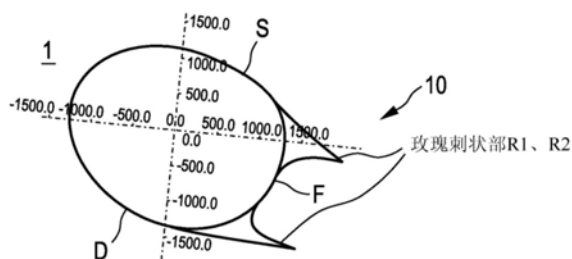
权利要求书4页 说明书11页 附图12页

(54) 发明名称

风能设备的转子叶片和风能设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于风能设备的具有吸入侧和压力侧的转子叶片(1),所述转子叶片具有: 毂区域(I)的转子叶片根部(4),用于将转子叶片(1)连接到转子毂上;和转子叶片尖部(5,7),其设置在尖部区域(III)的背离转子叶片根部(4)的一侧上。根据本发明提出,在毂区域(I)的区域中,转子叶片至少部分地具有厚翼型,所述厚翼型在其后缘上具有刺状扩展部,其中在毂区域的区域中,厚翼型至少部分地在吸入侧具有在后缘上的第一刺状扩展部,并且在压力侧具有在后缘上的第二刺状扩展部,并且在毂区域的区域中,厚翼型至少部分地在吸入侧和/或压力侧上具有流动稳定器和/或涡流发生器。



1. 一种用于风能设备的具有吸入侧和压力侧的转子叶片(1),所述转子叶片具有:
 - 毂区域(I)的转子叶片根部(4),用于将所述转子叶片(1)连接到转子毂上,和
 - 设置在尖部区域(III)的背离所述转子叶片根部(4)的一侧上的转子叶片尖部(5,7),其中,
 - 在所述毂区域的区域中,所述转子叶片至少部分地具有厚翼型,所述厚翼型在其后缘上具有刺状扩展部,
 - 其特征在在于,
 - 在所述毂区域的区域中,后缘是平坦的或拱起的后缘,
 - 所述厚翼型在所述吸入侧具有在所述后缘上的第一刺状扩展部,并且在所述压力侧具有在所述后缘上的第二刺状扩展部,以在所述第一刺状扩展部和第二刺状扩展部之间构成具有实际上平坦的底面的沟槽(K),其中
 - 在所述第一刺状扩展部和第二刺状扩展部之间的沟槽(K)的平坦的底面在所述毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)中向外拱起并且在所述毂区域(I)的远离毂的区域(I.2)中向内拱起,并且
 - 所述厚翼型至少部分地在吸入侧和/或压力侧上具有流动稳定器和/或涡流发生器。
 - 2. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域的区域中,所述厚翼型至少部分地具有大于40%的相对厚度。
 - 3. 根据权利要求2所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域的区域中,所述厚翼型至少部分地具有大于45%的相对厚度。
 - 4. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域中,所述后缘具有相对厚度。
 - 5. 根据权利要求4所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域中,所述后缘具有大于5%的相对厚度。
 - 6. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),其特征在在于,所述刺状扩展部的相对刺状部深度从所述后缘测量低于25%和/或至少高于所述后缘的相对厚度5%,其中有利地最大相对刺状部深度在15%和25%之间。
 - 7. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域的区域中,所述后缘至少部分地具有锯齿形状。
 - 8. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域的区域中,所述厚翼型至少部分地在所述吸入侧和/或所述压力侧上具有流动稳定器,所述流动稳定器选自:扰流器、边界层整流栅、边界层抽吸装置。
 - 9. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),其特征在在于,在所述毂区域的区域中,所述厚翼型至少部分地在所述吸入侧和/或所述压力侧上具有涡流发生器,所述涡流发生器选自:安定翼、突起、凹窝、腹板、吹出或吸出结构。
 - 10. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在在于,
 - 在所述毂区域(I)中在第一区域中,即在所述毂区域(I)中的靠近毂的区域(I.1)中,所述厚翼型在其平坦的后缘上具有第一相对厚度和所述刺状扩展部,并且
 - 在所述毂区域(I)中在第二区域中,即在所述毂区域(I)中的远离毂的区域(I.2)中,所述厚翼型的后缘具有不带有刺状扩展部的尖的后缘,或者具有同样带有所述刺状扩展部

的、较小的第二相对厚度的平坦的后缘。

11. 根据权利要求1所述的转子叶片(1), 其特征在于,

-在所述毂区域(I)中在第一区域中,即在所述毂区域(I)中的靠近毂的区域(I.1)中,所述厚翼型在其平坦的后缘上具有所述刺状扩展部,并且

-在所述毂区域(I)中在第二区域中,即在所述毂区域(I)中的远离毂的区域(I.2)中,所述厚翼型的后缘具有不带有所述刺状扩展部的平坦的后缘。

12. 根据权利要求1所述的转子叶片(1), 其特征在于,在所述毂区域(I)中在第一区域和第二区域之间,所述厚翼型具有最大翼型深度,其中所述第一区域即所述毂区域(I)中的靠近毂的区域(I.1),所述第二区域即所述毂区域(I)中的远离毂的区域(I.1)。

13. 根据权利要求1所述的转子叶片(1), 其特征在于,定义为翼型厚度(2)与翼型深度(3)的比的相对翼型厚度(2),在所述毂区域(I)的转子叶片根部(4)和所述尖部区域(III)的转子叶片尖部(5,7)之间的区域中,即在中间区域(II)中,具有局部最大值。

14. 根据权利要求13所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述局部最大值的相对翼型厚度(2)为35%至50%。

15. 根据权利要求14所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述局部最大值的相对翼型厚度(2)为40%至45%。

16. 根据权利要求13或14所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述转子叶片(1)在所述局部最大值的区域中具有1500mm至3500mm的绝对翼型深度(3)。

17. 根据权利要求1所述的转子叶片(1),

其特征在于,

-所述转子叶片(1)由第一转子叶片部段和第二转子叶片部段组成,并且

-所述第一转子叶片部段具有所述转子叶片根部(4),而所述第二转子叶片部段具有所述转子叶片尖部(7),并且

-所述第一转子叶片部段和第二转子叶片部段在分离部位彼此连接,

其中所述分离部位设置在转子叶片根部(4)和转子叶片尖部(7)之间的中间区域(II)中和/或在相对翼型厚度(2)的局部最大值的区域中,所述相对翼型厚度定义为翼型厚度(2)与翼型深度(3)的比。

18. 根据权利要求1所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述转子叶片(1)在第一区域中,即在所述毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)中,具有至少3900mm的绝对翼型深度(3)。

19. 根据权利要求18的转子叶片(1), 其特征在于,所述转子叶片(1)在第一区域中,即在所述毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)中,具有在4000mm至8000mm的范围内的绝对翼型深度(3)。

20. 根据权利要求1所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述转子叶片(1)从所述转子叶片根部(4)起,在总长度的90%至95%的范围内具有最大1000mm的绝对翼型深度(3)。

21. 根据权利要求20所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述转子叶片(1)从所述转子叶片根部(4)起,在总长度的90%至95%的范围内具有在700mm至400mm的范围内的绝对翼型深度(3)。

22. 根据权利要求1所述的转子叶片(1), 其特征在于,所述转子叶片(1)在中间区域(II)中具有相当于在所述毂区域(I)中的翼型深度的20%至30%的翼型深度。

23. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域的区域中,所述厚翼型至少部分地具有大于50%的相对厚度,其中所述厚翼型以基本上圆柱形的或椭圆形的芯(11')的形式形成。

24. 根据权利要求23所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域的区域中,所述厚翼型至少部分地具有大于75%的相对厚度,其中所述厚翼型以基本上圆柱形的或椭圆形的芯(11')的形式形成。

25. 根据权利要求23或24所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,所述厚翼型以基本上圆柱形的或椭圆形的缠绕件(WT)的形式形成。

26. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,定义为翼型厚度(2)与翼型深度(3)的比的相对翼型厚度和/或绝对翼型厚度(2)从转子叶片根部(4)至转子叶片尖部(5,7)减小。

27. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述后缘上的所述第一刺状扩展部(R1)和第二刺状扩展部(R2)以小于 60° 的环周角设置,其中所述环周角从翼型轴线起在没有攻角的情况下测量。

28. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,即在所述毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)中,与在所述压力侧在所述后缘上的所述第二刺状扩展部的相对刺状部深度相比,在所述吸入侧在所述后缘上的所述第一刺状扩展部具有更小的相对刺状部深度。

29. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,即在所述毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)中,与在所述吸入侧在所述后缘上的所述第一刺状扩展部的定向相比,在所述压力侧在所述后缘上的所述第二刺状扩展部具有更大程度地朝向所述压力侧倾斜的定向。

30. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,在所述吸入侧(S)在所述后缘上的所述第一刺状扩展部(R1)在基本上固定的环周角(α_1)的情况下朝向所述尖部区域(III)伸展。

31. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,在所述压力侧(D)在所述后缘上的所述第二刺状扩展部(R2)在基本上减小的环周角(α_2)的情况下朝向所述尖部区域(III)伸展。

32. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,在所述后缘上的所述第一刺状扩展部(R1)和在所述后缘上的所述第二刺状扩展部(R2)汇聚。

33. 根据权利要求32所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,在所述后缘上的所述第一刺状扩展部(R1)和在所述后缘上的所述第二刺状扩展部(R2)在环周角为 0° 的位置(T)或者在负的环周角或正的环周角(α_1)的情况下汇聚。

34. 根据权利要求1所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,在所述压力侧(D)在所述后缘上的所述第二扩展部(R2)具有压力侧的下侧的朝向所述压力侧(D)拱起的伸展部。

35. 根据权利要求34所述的转子叶片(1,1'),其特征在于,在所述毂区域(I)中,在所述压力侧(D)在所述后缘上的所述第二扩展部(R2)具有压力侧的下侧的朝向所述压力侧拱起的具有增加的曲率的伸展部。

36. 根据权利要求1所述的转子叶片(1, 1'), 其特征在于, 在所述毂区域(I)中, 在所述压力侧在所述后缘上的所述第二刺状扩展部具有朝向所述压力侧拱起的唇口, 其中所述唇口带有至压力侧的下侧(U)的朝向所述压力侧(D)拱起的伸展部的空气动力学的过渡部。

37. 根据权利要求36所述的转子叶片(1, 1'), 其特征在于, 所述唇口是扰流器唇口或格尼襟翼。

38. 根据权利要求1所述的转子叶片(1, 1'), 其特征在于, 在所述第一刺状扩展部和第二刺状扩展部之间的沟槽的区域中的标准化的流动的流速, 以Ma为单位, 在0.01Ma和最大0.1Ma之间。

39. 根据权利要求38所述的转子叶片(1, 1'), 其特征在于, 在所述第一刺状扩展部和第二刺状扩展部之间的沟槽的区域中的标准化的流动的流速, 以Ma为单位, 在0.02Ma和最大0.06Ma之间。

40. 根据权利要求1所述的转子叶片(1, 1'), 其特征在于, 在直至 5° 的攻角的情况下, 滑翔系数高于1并且低于10, 即从所述毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)至所述毂区域(I)的远离毂的区域(I.2), 滑翔系数增加和/或所述转子叶片的翼型的攻角减小。

41. 一种具有转子的风能设备, 其中所述转子具有至少一个根据权利要求1至40中任一项所述的转子叶片(1, 1')。

风能设备的转子叶片和风能设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风能设备的转子叶片以及风能设备。

背景技术

[0002] 用于风能设备的转子的转子叶片是普遍已知的。这种转子叶片具有考虑到特别的空气动力学要求的翼型(横截面轮廓)。

[0003] 风能设备例如具有空气动力学的转子,所述转子具有多个转子叶片并且示例性地在图1中示出所述风能设备。这种转子叶片的空气动力学的特性影响转子的效率。为了提高转子叶片的效率,优化所述转子叶片的翼型。为了例如在具有弱风的地区中,即尤其在内地地点,确保尽可能连续地产生流,空气动力学的转子具有转子直径,所述转子直径能够为多于80米。在这种大的风能设备进而转子叶片也非常大的情况下,这造成高的转子叶片重量。大的或沉的转子叶片产生高负荷,所述高负荷在运行中作用到风能设备上。此外,制造以及到相应的建造地点的运输是复杂的且困难的。然而,对于这种大的转子叶片的运输更有利的两件式的转子叶片的实施方案,由于所产生的负荷和附加地通过分离部位所产生的稳定性而减小,仅是在受限条件下是可行的。

[0004] 转子叶片的,尤其在毂区域中的翼型的构型满足一定的要求,所述要求与例如在转子叶片的尖部区域中不同。例如Barbara Souza-Heinzelmann的博士论文“**Strömungsbeeinflussung bei Rotorblättern von Windenergieanlagen mit Schwerpunkt auf Grenzschichtabsaugung**(在风能设备的转子叶片中针对边界层抽吸装置的流动影响)”(2011年6月23日,柏林)提供概述。在此,原则上探讨了在空气动力学设计中和在绕流转子叶片时的不同形式的流动影响。尤其,所述博士论文的图4-3示出转子叶片被划分为三个区域,即毂区域、中间区域和尖部区域。流动影响的措施例如能够是在图5-7中示出的涡流发生器或扰流器或在图5-8中示出的边界层整流栅。

[0005] 在那里,在图4-6中探讨了在申请人的转子叶片的毂区域中的翼型的突出的构型。例如,从WO 2013/152009中已知,到具有增加的转子叶片的翼型深度的毂上的转子叶片连接部的附件。在申请人的DE 102013/210901 A1中例如公开了这种附件与边界层整流栅等的组合。

[0006] 转子叶片连接部的原则上与其不同的可能性提出在毂区域中翼型深度减小,以便就此从在转子叶片的中间区域中的标准翼型的形式起经过椭圆形的翼型横截面至大致圆形的翼型横截面达到毂连接部,这例如在DE 102008052858 B9中描述,其中设有转子叶片的钝后缘。

[0007] 然而,在钝后缘转子叶片翼型,即所谓的平底翼型中,即使鉴于原则上仍存在的受限的升力特性,在后缘上的流动分离原则上也是成问题的。所述问题的良好的概述例如在太阳能工程期刊,第125期,第479至489页中(2003年十一月),Standish等著有的“Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Airfoils(钝后缘翼型的空气动力学分析)”的文章中给出。

[0008] 德国专利商标局在本PCT申请的优先权申请中检索到如下现有技术:DE 10 2014 108 917 A1、WO 2014/025 252 A1、WO 2013/153 009 A1、DE 10 2013 210 901 A1、EP 2 568 166 A1、DE 10 2014 206 345 A1、DE 10 2008 052 858 B9和DE 10 2013 101 232 A1。

发明内容

[0009] 本发明基于的目的是,消除或减少至少一个上述问题,尤其提出一种转子叶片,所述转子叶片在毂区域中至少仍受限地具有良好的升力值并且尽管如此仍减少后缘涡流的问题。尤其,转子叶片应在毂区域中具有选择性增加的翼型厚度或减小的翼型厚度,但至少至少在毂区域中在所述翼型厚度的范围内构成为,使得转子叶片能够相对简单地运输。

[0010] 涉及转子叶片的目的通过一种转子叶片实现。本发明也涉及一种风能设备。

[0011] WO 2014/025 252 A1在本申请的优先权日之前已进行申请并且在之后才公开,进而仅在新颖性方面对于本申请是重要的,WO 2014/025252 A1示出一种空气动力学的翼型,其在空气动力学的翼型的后缘上具有不对称的、凹进的、尾巴状的沟槽体(swallow tail shaped,燕尾形),所述翼型例如能够用于风力涡轮机。不对称的、凹进的、尾巴状的(燕尾形的)沟槽体具有第一部件和第二部件,在所述第一部件和第二部件之间形成沟槽(cavity)。第一和第二部件分别具有上部的和下部的分别直的外表面,所述外表面相应地与空气动力学的翼型的上侧和下侧齐平地对齐。

[0012] 本发明基于的想法是,在连续地改进风能设备的过程中,转子直径增加,以便能够从风中提取更多的能量。然而,由于空气动力学的和结构机械的自然规律,不可行或仅有限制地可行的是,仅增大转子叶片的长度并且例如保持宽度或翼型深度,因为由此在不借助于其他空气动力学的辅助机构的情况下,不可能实现在空气动力学的翼型的使用范围中干净的流动状态。由于转子的面积越来越大,因此整个风能设备的声发射水平也升高,所述声发射水平同样要被考虑。

[0013] 本发明认识到,原则上,在尖部区域和中部区域中具有空气动力学的标准翼型的转子构成尤其在毂区域中具有空气动力学的厚翼型,尤其具有钝后缘的平底翼型的转子叶片是有利的。这能够实现在升力特性仍保持不变的情况下叶片深度减少。

[0014] 基于所述构思,从本发明认识到,原则上还有利的是,也就是说,根据申请人的设计方案,如在WO 2013/153009 A1中具有进一步增加的翼型厚度(但不是强制性的),在毂区域的区域中,转子叶片至少部分地形成厚翼型,所述厚翼型在其后缘上具有刺状扩展部。尤其根据所述理解,更确切地说,平坦的后缘理解为后缘,并且参照所述后缘考虑刺状扩展部。实际的、就此而言尖的后缘于是在刺状扩展部的端部上形成。

[0015] 由于这种刺状扩展部,不仅翼型深度能在毂区域中以有利的方式小地构成,而且此外也有利地形成涡流分离进而有利地形成声发射。

[0016] 根据本发明,证实为有利的是,在毂区域的区域中转子叶片至少部分地具有厚翼型,并且厚翼型在吸入侧具有在后缘上的第一刺状扩展部并且在压力侧具有在后缘上的第二刺状扩展部。

[0017] 本发明的这种有利的改进方案和其他有利的改进方案由实施方式获得并且详细地给出在任务提出以及关于其他优点的范畴内实现上述设计方案的有利的可能性。

[0018] 在毂区域的区域中,厚翼型有利地构成为平底翼型,也就是说构成有钝后缘。在毂区域中,后缘有利地具有平坦的后缘,所述后缘具有相对厚度,尤其大于5%的相对厚度。

[0019] 厚翼型有利地具有大于40%的相对厚度,尤其大于45%的相对厚度。相对刺状部深度,从后缘测量,有利地低于25%和/或至少高于后缘的相对厚度,尤其高于5%。在此,根据所述理解,再尤其更确切地说理解为平坦的后缘并且与此相关地考虑相对厚度和刺状扩展部。

[0020] 这种称作为玫瑰刺状翼型的翼型对应于根据平底翼型的前述改进方案的变型并且在此对应于本发明的有利的改进方案。

[0021] 原则上,根据本发明的设计方案,实现进一步减小翼型深度,或减小转子叶片宽度。厚翼型有利地具有大于50%,尤其大于75%的相对厚度。

[0022] 与平底翼型相比,通过优选两部分地,也就是说在吸入侧和压力侧,刺状扩展部逐渐变细的端部边缘件,减少了声发射。

[0023] 通过后缘刺状部的特殊形状能够实现受控的后缘涡流构成。因此证实,尤其在两部分构成的、安装在吸入侧和压力侧的刺状部,在吸入侧的和压力侧的刺状部之间的沟槽中(但至少刺状部上方或下方)能够使涡流稳定,并且尽管如此翼型仍然在毂区域的区域中具有相对好的升力值。证实为有利的是,即使在相对紊流或变化的风的情况下,在沟槽中或在刺状部上方或下方的涡流虽然脉动地或振荡地但也稳定地构成是可能的。通过在沟槽中或在刺状部上方或下方的涡流虽然脉动地或振荡地但也稳定地构成,提高有效的翼型深度进而改进翼型的升力特性。

[0024] 有利地,在后缘上测量出的相对刺状部深度低于25%和/或至少高于后缘的相对厚度,尤其高于5%,其中有利地,最大相对刺状部深度在15%和25%之间。在此,还尤其根据所述理解,更确切地说理解为平坦的后缘和与之相关地考虑相对厚度和刺状扩展部的相对刺状部深度。

[0025] 有利地,在毂区域的区域中,后缘至少部分地设有锯齿形状,即可以说构成为锯齿形的后缘。锯齿形的后缘能够在吸入侧和/或在压力侧上,或仅在压力侧和/或吸收侧或也在后缘的整个平坦的伸展部上构成。在此,还尤其根据所述理解,更确切地说平坦的后缘,然而必要时也理解为刺状扩展部的尖的后缘并且与之相关地考虑锯齿形的后缘;也就是说尤其在刺状扩展部的端部上设有锯齿形状。

[0026] 根据本发明的一个改进方案证实为是有利的,其中在毂区域的区域中厚翼型至少部分地在吸入侧和/或压力侧上具有流动稳定器。尤其,流动稳定器能够选自扰流器、边界层整流栅、边界层抽吸装置。

[0027] 附加地或替代地,根据本发明的一个改进方案证实为是有利的,其中在毂区域的区域中厚翼型至少部分地在吸入侧和/或压力侧上具有涡流发生器。尤其涡流发生器选自:安定翼、突起、凹窝、腹板或类似的紊流器、吹出或吸出结构。借助于涡流发生器能够增大在紊流情况下的边界层厚度;也就是说,比在层流情况下更大。因为与在层流情况下相比,流速然而随着增加的间距而更快增大,所以这引起更高的流动能量并且更高的能量使流动是对于从转子叶片表面分离更不敏感。涡流发生器或类似的紊流器通常是小的的人为施加的表面干扰。所述涡流发生器或类似的紊流器产生涡流并且将边界层层流转变为紊流。流动分离被延迟。紊流器例如包括横向伸展的滑槽,小的竖直板或孔。另一使边界层流动转变的可

行性是吹出或吸出紊流器。这是一系列细小的孔,空气穿过所述孔横向于流动方向吹入边界层中或从边界层中吸出。

[0028] 在一个特别优选的改进方案的范围内提出,在第一区域中,即在毂区域中在靠近毂的第一区域中,厚翼型在其后缘上具有刺状扩展部,并且在第二区域中,即在毂区域中在远离毂的第二区域中,厚翼型在其后缘上是不具有刺状扩展部的平坦的后缘。

[0029] 在转子叶片的根部和尖部之间的局部最大值的设计方案能够特别有利地与根据本发明的刺状扩展部组合地实施。优选地提出,在毂区域中在第一区域和第二区域之间,所述厚翼型具有最大翼型深度,其中所述第一区域尤其是毂区域中靠近毂的区域,所述第二区域尤其是毂区域中远离毂的区域。

[0030] 优选地提出,被定义为翼型厚度与翼型深度的比的翼型厚度在毂区域的转子叶片根部和尖部区域的转子叶片尖部之间的一个区域中,优选在中间区域中,具有局部最大值。

[0031] 优选地,局部最大值的相对翼型厚度能够为35%至50%和/或转子叶片在局部最大值的区域中具有1500mm至3500mm的翼型深度。

[0032] 优选地提出,转子叶片由第一和第二转子叶片部段组成,并且第一转子叶片部段具有转子叶片根部,而第二转子叶片部段具有转子叶片尖部,并且第一和第二转子叶片部段在分离部位处彼此连接。优选地,分离部位设置在转子叶片根部和转子叶片尖部之间的中间区域中和/或设置在局部最大值的区域中。

[0033] 前述改进方案在具有如下所述的绝对尺寸的转子叶片中被证实为是特别有利的。

[0034] 优选地提出,转子叶片在第一区域中,尤其在毂区域的靠近毂的区域中,具有至少3900mm的绝对翼型深度,尤其具有在4000mm至8000mm的范围内的绝对翼型深度。

[0035] 与其他不具有刺状扩展部但具有类似升力值的叶片情况相比,所述绝对翼型深度小15%至30%。

[0036] 优选地提出,转子叶片从转子叶片根部起在总长度的90%至95%的范围内具有最大1000mm的绝对翼型深度,尤其具有700mm至400mm的范围内的绝对翼型深度。

[0037] 与其他不具有刺状扩展部但具有类似升力值的叶片情况相比,所述绝对翼型深度也小15%至30%。

[0038] 优选地提出,转子叶片在中间区域(II)中具有翼型深度,所述翼型深度相当于在毂区域中的翼型深度的大致20%至30%,尤其大致25%。

[0039] 在另一改进方案的范围内能够提出,

[0040] -在毂区域中,在第一区域中,尤其在毂区域中的靠近毂的区域中,厚翼型在其平坦的后缘上具有第一相对厚度和刺状扩展部,并且

[0041] -在毂区域中,在第二区域中,尤其在毂区域中的远离毂的区域中,厚翼型的后缘具有不带有刺状扩展部的尖的后缘或者具有同样带有刺状扩展部的、较小的第二相对厚度的平坦的后缘。

[0042] 本发明的这种有利的改进方案或其他进一步的有利的改进方案从另外的实施方式中获得并且详细地给出在任务提出以及关于其他优点的范畴内实现上述设计方案的有利的可能性。

[0043] 厚翼型有利地具有大于50%,尤其大于75%的相对厚度。优选地,对于转子叶片而言,厚翼型以基本上椭圆的、卵形或圆柱形的芯的形式形成。尤其对于理想的或卵形的椭圆

形而言,厚翼型有利地具有大于50%,尤其大于75%的相对厚度。优选地,所述芯朝向毂连接部发展成圆柱形,也就是说转子叶片具有厚翼型,所述厚翼型具有直至100%的相对厚度。

[0044] 特别有利地,在大于75%的相对厚度的情况下,芯构成为缠绕件。尤其,芯为此构成为(例如玻璃或碳)纤维增强的(GFK)翼型。为此,例如丝线或垫或类似纤维缠绕到芯棒上,所述芯棒之后再被移除,使得芯作为缠绕件,尤其GFK缠绕件保留。

[0045] 转子叶片可在毂区域中特别有效地制造,通过如下方式,即在芯上作为具有大于50%,尤其大于75%的前述厚翼型,在其具有相对后缘厚度的后缘上安装刺状扩展部,尤其仅安装刺状扩展部。关于这一点,在图12中作为特别优选的实施方式示出基本上圆柱形的或卵形的缠绕件,所述缠绕件具有有利地大于50%,尤其大于75%的厚翼型和刺状扩展部。

[0046] 圆柱形的或卵形的芯,优选基本上圆柱形的或卵形的缠绕件,在吸入侧具有在后缘上的第一刺状扩展部并且在压力侧具有在后缘上的第二刺状扩展部,以在第一和第二刺状扩展部之间构成具有平坦的底面的沟槽。尤其,定义为翼型厚度与翼型深度的比的相对和/或绝对翼型厚度从转子叶片根部至转子叶片尖部减小。

[0047] 优选地,在第一和第二刺状扩展部之间的沟槽的平坦的底面,至少在毂区域的靠近毂的区域中向外拱起并且至少在毂区域的远离毂的区域中向内拱起。

[0048] 在转子叶片中,在后缘上的第一和第二刺状扩展部尤其优选以小于60°的环周角设置,其中环周角从翼型轴线起测量,即从水平线起没有攻角的情况下测量。

[0049] 在一个特别优选的改进方案的范围内,在毂区域中,尤其在毂区域的靠近毂的区域中,与在压力侧在后缘上的第二刺状扩展部的相对刺状部深度相比,在吸入侧在后缘上的第一刺状扩展部具有更小的相对刺状部深度。

[0050] 在一个特别优选的改进方案的范围内,在毂区域中,尤其在毂区域的靠近毂的区域中,与在吸入侧在后缘上的第一刺状扩展部的定向相比,在压力侧在后缘上的第二刺状扩展部具有更大程度地朝向压力侧倾斜的定向。

[0051] 在特别优选的另一改进方案的范围内提出,在毂区域中,在吸入侧在后缘上的第一刺状扩展部在尽可能固定的环周角的情况下朝向尖部区域伸展,并且在压力侧在后缘上的第二刺状扩展部在尽可能减小的环周角的情况下朝向尖部区域伸展。换言之,例如吸入侧的刺状扩展部在环周角尽可能固定的情况下设置在1点钟位置和3点钟位置之间的固定位置上,例如大致在2点钟位置,并且压力侧的刺状扩展部例如设置在5点钟位置和3点钟位置之间的位置上;优选随着位置从5点钟位置减至3点钟位置朝向尖部区域伸展。

[0052] 优选地,在毂区域中在后缘上的第一刺状扩展部和在后缘上的第二刺状扩展部汇聚,尤其在环周角为0°的位置或在负的环周角的情况下。换言之,有利地提出,吸入侧的刺状扩展部和压力侧的刺状扩展部汇聚成尖的后缘;优选在环周角为0°的情况下,即在3点钟位置(没有攻角/扭转)。

[0053] 优选提出,在毂区域中,在压力侧在后缘上的第二扩展部具有压力侧的下侧的朝向压力侧拱起的伸展部,尤其具有压力侧的下侧的朝向压力侧拱起的具有增加的曲率的伸展部,因此可以说以负曲率伸展。附加地或备选地能够提出,在毂区域中,在压力侧在后缘上的第二刺状扩展部具有朝向压力侧拱起的唇口,尤其扰流器唇口或格尼(Guerney)襟翼,尤其带有至压力侧的下侧的朝向压力侧拱起的伸展部的空气动力学的过渡部。

[0054] 已证实的是,借助于前述改进方案优选能够实现下述转子叶片,所述转子叶片在翼型上在第一和第二刺状扩展部之间的沟槽的区域中具有标准化的流动的流速,所述流速以Ma(马赫数)为单位,在0.01Ma和最大0.1Ma之间,尤其在0.02Ma和最大0.06Ma之间。

[0055] 也已证实的是,借助于前述改进方案优选能够实现下述转子叶片,所述转子叶片具有如下滑翔系数(升阻比),在直至 5° 的攻角(扭转)的情况下,所述滑翔系数高于1并且低于10,尤其从毂区域(I)的靠近毂的区域至毂区域的远离毂的区域,滑翔系数(升阻比)增加和/或转子叶片的翼型的攻角(扭转)减小。

[0056] 现在,下面根据附图描述本发明的实施方式。所述附图不必要合乎比例地示出,相反,用于进行阐述的附图以示意性地和/或略微失真的形式实现。鉴于从附图中直接可看出教导的补充,参照相关的现有技术。在此要考虑的是,能够进行涉及实施方式的形式和细节的多样化的改进和改变,而不偏离本发明的大体思想。本发明的在说明书中、在附图中以及在权利要求中公开的特征能够不仅以单独的形式而且以任意组合的形式对于本发明的改进方案而言是重要的。此外,在本发明的范围内,包含所有由至少两个在说明书、附图和/或权利要求中公开的特征构成的组合。本发明的大体思想不局限于下文中示出和描述的优选的实施方式的确切的形式和细节或者局限于与在权利要求中所要求保护的主体相比受限制的主题。在给出的尺寸范围内也应当将位于所述界限之内的值作为边界值公开并且可任意使用并且可要求保护。为了简单性,下面对于相同的或类似的部件或具有相同或类似功能的部件使用相同的附图标记。

附图说明

[0057] 本发明的其他优点、特征和细节从优选的实施方式的下面的说明中以及根据附图得到。所述附图示出:

[0058] 图1示出优选的风能设备的示意图;

[0059] 图2至图5示出对于转子叶片的优选的实施方式在尖部区域(III)中(图2),在中间区域(II)中(图3)和在毂区域(I)中(图4、5)的转子叶片的优选的翼型形状;

[0060] 图6示出沿着转子叶片从毂区域经中间区域直至尖部区域的翼型横截面的示意的伸展;

[0061] 图7示出在毂区域中的具有稳定形式的沟槽涡流的转子叶片翼型的玫瑰刺状翼型的视图;

[0062] 图8示出图7的玫瑰刺状翼型的坐标图(A)连同所属的流动曲线分布(B);

[0063] 图9示出沿着具有后缘翼型的转子叶片的长度的第一侧视图,所述后缘翼型承载优选的实施方式的玫瑰刺状翼型;

[0064] 图10示出转子的另一视图,其中在图10中后缘翼型以玫瑰刺状翼型形成并且示出具有锯齿形状的情况或不具有锯齿形状的情况;

[0065] 图11以示意轮廓图示出转子叶片的一个优选的实施方式的俯视图,其中在毂区域(I)中设有刺状扩展部,在优选的实施方式的第一变型方案中,刺状扩展部是与图9和图10中类似的后缘翼型的一部分,例如构成为后缘盒,在优选的实施方式的第二变型方案中,刺状扩展部在毂区域中在后缘上形成,其中在虚线下方的翼型深度作为后缘保留,例如能够取消后缘盒;

[0066] 图12示出转子叶片的一个优选的实施方式的立体图,在毂区域(I)中具有在毂区域中可看出的刺状扩展部,其中根据优选的实施方式的图11中示出的第二变型方案,在虚线下方的翼型深度作为后缘保留;

[0067] 图13示出在图12的转子叶片的毂区域(I)的靠近毂的区域(I.1)中的第一厚翼型(A);在中间的毂区域(I)中的第二厚翼型(B);以及在远离毂的区域(I.2)中的第三厚翼型(C),所有厚翼型具有以声速标准化的速度分布和由此可看出的在第一和第二刺状扩展部之间的沟槽中的沟槽涡流,其中流动速度在0.01Ma和最大0.1Ma之间的范围内,尤其在0.02Ma和最大0.06Ma之间的范围内。

[0068] 图14以视图(A)、(B)和(C)分别示出用于根据图12和13的第二替选的变型方案的转子叶片的图13的视图(A)、(B)和(C)的厚翼型的滑翔系数(升阻比),其中由于通过沟槽涡流延长的有效的翼型深度实现改进的升力。

具体实施方式

[0069] 图1示出具有塔102的风能设备100,所述塔设立在地基103上。在上部的与地基103相对置的端部上存在吊舱104(机舱),所述吊舱具有转子105,所述转子具有转子毂106和安装在其上的转子叶片107、108和109。转子105与吊舱104内部的发电机耦联,以将机械功转换为电能。吊舱104可转动地支承在塔102上,所述塔的地基103提供所需的稳定性。

[0070] 图2对于尖部区域III示出基本上根据标准翼型的转子叶片翼型30,其中吸入侧S基本上凸状地构成并且压力侧D基本上凹状地或直地构成。

[0071] 图3示出转子1的转子叶片翼型20,其在毂区域中具有钝后缘F,其中后缘具有相对后缘厚度Fd,所述相对后缘厚度一定能够位于5%或更多的范围内。图2、图3的翼型30、20也能够分别位于中间区域或毂区域中。

[0072] 图4对于优选的实施方式的转子叶片1示出转子叶片翼型10的玫瑰刺状翼型。在毂区域I中的转子叶片翼型作为厚翼型在吸入侧和压力侧S、D上分别具有呈刺状扩展部R1、R2形式的玫瑰刺状部,所述厚翼型具有大于45%的相对厚度和大于5%的后缘。从后缘F测量的刺状部深度低于25%并且高于后缘的相对厚度,即尤其高于5%。转子翼型已经以攻角(被扭转)示出,所述攻角至少在毂区域的靠近毂的区域中能够在0°和70°之间,尤其在0°和45°之间并且在此趋于增加。

[0073] 图5示出图4的具有附加的涡流发生器W1、W2的转子叶片翼型,其中涡流发生器设置在吸入和压力侧S、D上。

[0074] 图6示出一个实施方式的转子叶片1的不同的翼型几何形状分布。在转子叶片1中部段地示出翼型厚度2和翼型深度3。转子叶片1在一个端部上具有转子叶片根部4并且在背离其的端部上具有用于安装转子叶片尖部的连接区域5。在转子叶片根部4上,转子叶片具有大的翼型深度3。在连接区域5中,翼型深度3相反小得多。翼型深度从转子叶片根部4起直至中间区域II明显地减小,所述转子叶片根部也能够称作为翼型根部。

[0075] 图7示出,在吸入侧的和压力侧的玫瑰刺状部之间的叶片翼型的沟槽K中,也就是说,在吸入侧的和压力侧的刺状扩展部R1、R2之间的沟槽K中,构成朝向吸入侧的相对稳定的沟槽涡流W。左旋的沟槽涡流将空气从吸入侧S吸入到吸入侧的和压力侧的刺状扩展部R1、R2之间的沟槽K中并且防止在吸入侧的流动分离。在压力侧D上的压力侧流动附加地稳

定沟槽涡流W。与相对稳定的沟槽涡流一起,在毂区域I中的叶片翼型就此而言具有通过沟槽涡流延长的翼型深度,使得形成更长的流线,可以说,通过稳定的沟槽涡流延长叶片翼型的翼型深度。这引起改进的升力值,只要沟槽涡流是稳定的。然而这通过刺状扩展部的吸入侧的和压力侧的玫瑰刺状部来确保。附加地,图7的转子叶片翼型设有涡流发生器,使得不会提前出现在边界面中的入流分离。这对于在叶片翼型的刺状扩展部的吸入侧的和压力侧的玫瑰刺状部之间的沟槽中的沟槽涡流引起稳定的压力比。图7示出以 7° 的攻角绕流转子叶片,然而本发明的设计方案绝不局限于这种小的攻角,而是相反更倾向于针对攻角为 30° 的不太有利的情况。然而,图7示出借助于使用玫瑰刺状部明显节约材料的可能性和基本原理。涡流发生器也能够比所示出的更小;因此玫瑰刺状部变得相对更小。

[0076] 图8在(A)中示出图7的玫瑰刺状翼型的坐标图连同其所属的流动曲线分布(B);在此尤其可看出,图7中所示出的吸入的流形成为在刺状部R1、R2之间的稳定的涡流W。

[0077] 图9示出一个实施方式的转子叶片900在其总长度1上的侧视图,即从0%至100%。转子叶片900在一个端部上具有转子叶片根部904并且在其背离的端部上具有转子叶片尖部907。转子叶片尖部907在连接区域905上与转子叶片的其余部分连接。在转子叶片根部904上,转子叶片具有大的翼型深度。在连接区域905上和转子叶片尖部907上,翼型深度相反小得多。翼型深度从转子叶片根部904起直至中间区域906明显减小,所述转子叶片根部也能够称作为翼型根部。在中间区域906中能够设有分离部位(在此没有示出)。从中间区域906直至连接区域905,翼型深度是近似恒定的。

[0078] 转子叶片900在转子叶片根部904的区域中具有两件式的形式。因此,转子叶片900由基本翼型909构成,在转子叶片根部904的区域中,在所述基本翼型上设置有用以提高转子叶片900的转子叶片深度的另一部段908。在此,部段908例如粘结到基本翼型909上。这种两件式的形式在运输至搭建地点时在操作方面更简单并且可更简单地制成。

[0079] 此外,在图9中可看出毂连接区域910。经由毂连接区域910,转子叶片900连接到转子毂上。

[0080] 图10示出图9的转子叶片900的另一侧视图。可见的是转子叶片900,其具有基本翼型909、用于提高转子叶片深度的部段908、中间区域906、转子叶片根部904和毂连接区域910以及用于转子叶片尖部907的连接区域905。转子叶片尖部907构成为所谓的小翼。由此减少在转子叶片尖部上的涡流。

[0081] 在图9的细节中,部段908构成为后缘件,所述后缘件具有在吸入侧的和压力侧的玫瑰刺状部R1、R2之间的沟槽K。然而总体上得到较小的后缘件的深度,因为由于优选稳定的沟槽涡流构成而增大在毂区域中叶片翼型的有效相对翼型厚度。

[0082] 在图10的细节中,后缘件在视图A中以不具有锯齿形的方式示出一次并且在视图B中以具有锯齿形的方式示出一次。根据需要尤其能够通过锯齿形或其他稳流措施辅助沟槽涡流构成进而提高在毂区域中叶片翼型的有效相对翼型厚度。

[0083] 图11示出,在上部中可见的、优选的实施方式,作为具有例如呈后缘盒形式的后缘件的第一变型方案,所述后缘件单独地安置,如其已经作为部段908在图9和图10中所示。

[0084] 相应地以在毂区域I中提高的翼型深度示出的转子叶片1尤其已结合图9和图10描述,所述转子叶片具有后缘件,所述后缘件具有刺状扩展部,即作为部段908,在升力值和滑翔值类似时,与在不具有刺状扩展部的后缘件的情况下相比得到更小的后缘件的深度。因

此,由于前述稳定的沟槽涡流构成使得能增大在毂区域中叶片翼型的有效相对翼型厚度,这种转子叶片1的翼型深度能够相对减小。因为由于优选的稳定的沟槽涡流构成而增大在毂区域中叶片翼型的有效相对翼型厚度,所以这优选适合于,然而不强制性适合于实现如在图6中所示的转子叶片1。

[0085] 图11也示出另一特别优选的实施方式作为第二变型方案,其在此称作为转子叶片1'。在所述第二变型方案中,刺状扩展部在毂区域中“直接”在转子叶片的芯的后缘F上形成,其中刺状扩展部R1、R2保留在虚线L'下方;虚线L'因此形成刺状扩展部R1、R2的后部边缘。在转子叶片1'取消转子叶片1的后缘件908。

[0086] 就此而言,转子叶片1'的翼型深度局限于虚线L'下方的区域。就此而言,但如所示在相当大的且有利的升力值和滑翔值的情况下,转子叶片1'以明显更小的翼型深度(弦长度)构成的,还是。这引起非常明显地减小进而明显地改进转子叶片1的可运输性。

[0087] 转子叶片1'可在毂区域I中特别有效地制造,其方式是:通过在芯上作为具有大于50%,尤其大于75%的相对厚度的前述厚翼型,即在芯的具有相对高的后缘厚度的后缘上,安装刺状扩展部,尤其(如这里在图12中示出的所述实施方式中)仅安装刺状扩展部。

[0088] 具有大于50%,尤其大于75%的有利的相对厚度的厚翼型的基本上圆柱形的或椭圆形的缠绕件从远离毂的毂区域I.2发展至靠近毂的区域I.1,如这例如在图13中可清楚看出,直至毂的连接区域中的直至100%的有利的相对厚度的圆柱形的厚翼型。

[0089] 对于转子叶片1'也对于转子叶片1设有分离部位R,在所述分离部位处转子叶片1、1'沿纵向方向组装。

[0090] 图12示出在毂区域(I)中的转子叶片的一个优选的实施方式的立体图,其具有在毂区域中的可见的刺状扩展部,其中在毂区域中在靠近毂的第一区域中,厚翼型在其后缘上具有刺状扩展部,并且也在第二区域中,即在毂区域中在远离毂的区域中,厚翼型在其后缘平坦的后缘具有刺状扩展部。

[0091] 在图12中立体地示出转子叶片1',对于其毂区域I具有隆起状扩展的分离部位R。在图12中的转子叶片1'的立体图能看出,厚翼型在毂区域I中以基本上椭圆的并随后沿纵向方向朝向毂发展的卵形的并随后圆柱形的芯11'的形式形成,所述芯构成为缠绕件WT,这在图13中相应地示出。

[0092] 在芯11'的吸入侧S上安装有第一刺状扩展部R1并且在芯11'的压力侧D上安装有第二刺状扩展部R2,即分别在其后缘F上。由此构成在图12中可见的沟槽K,即在后缘F上在吸入侧的刺状扩展部R1和压力侧的刺状扩展部R2之间具有在第一和第二刺状扩展部R1、R2之间的由后缘F形成的、尽可能平坦的底面。

[0093] 图13结合图12和11,针对在图11中示出的横截面A-A以及B-B和C-C,在图13的视图(A)、(B)和(C)中,示出具有转子叶片1'朝向毂的大于50%并且随后大于75%并最后实际上100%的相对厚度的相应的翼型,为此示出流速的计算分布。流速作为阴影示出并且能看到在缠绕件WT上的刺状扩展部R1、R2之间的沟槽K中的沟槽涡流W,随后将参考所述沟槽涡流。

[0094] 从图13的在视图(A)、(B)和(C)中的翼型中可见,定义为翼型厚度2与翼型深度3的比(参见图6)的相对的和/或绝对的翼型厚度2从转子叶片尖部5、7至转子叶片根部4增加;即相对翼型厚度从首先低于45%增加至高于50%,随后增加至高于75%,直至增加至在转子叶片4或毂上的圆柱形的叶片连接部的实际上100%的相对翼型厚度。

[0095] 此外可见的是,在第一和第二刺状扩展部R1、R2之间的沟槽K的平坦的底面,即由转子叶片1'的实际上平坦的后缘F形成,在靠近轭的翼型处(如在图13的视图(A)中所示)向外拱起。因此在靠近轭的区域I.1中底面向外拱起,而在中间的轭区域I中(在此在图13的视图(B)中示出)该底面是相对平坦的,并且在轭区域I的远离轭的区域I.2中所述底面向内拱起(如这在图13的视图(C)中可见)。

[0096] 从图12中还可可见,在后缘F上的第一和第二刺状扩展部R1、R2以小于 60° 的环周角设置,即在此以在图12中示出的大约为 45° 的环周角 α_1 、 α_2 设置。刺状扩展部R1、R2的环周角 α_1 、 α_2 在此从翼型轴线起(转子叶片1'的翼型的翼弦A)测量。

[0097] 在后缘F上的第一刺状扩展部R1在吸入侧S上的环周角 α_1 当前在环周角 α_1 尽可能固定的情况下朝向尖部区域伸展。如在图12中可见,对于在后缘F上的第二刺状扩展部R2,在压力侧D上环周角 α_2 朝向尖部区域III减小。也就是说,刺状扩展部R1、R2彼此相向地伸展,以便在轭区域I的端部处在交点T汇聚。这大致对应于如下位置,在该位置用于两个玫瑰刺状翼型R1、R2的环周角为大约 0° 或更高,必要时为固定的环周角 α_1 。

[0098] 如在图12中可见那样提出,在轭区域I中在第一区域中,即在轭区域I的靠近轭的区域I.1中,厚翼型在其平坦的后缘上具有相对高的第一相对厚度和刺状扩展部。还提出,在轭区域I中在第二区域中,尤其在轭区域I中的远离轭的区域I.2中,厚翼型的后缘具有不带有刺状扩展部的尖的后缘,或者具有同样带有刺状扩展部的、较小的第二相对厚度的平坦的后缘。

[0099] 压力侧的刺状扩展部R2可以说跟随转子叶片1'的扭转;也就是说朝向尖部区域III具有减小的攻角 γ ,这已经从图6中可见并且在图12中再次清楚可见。在这里仅部分示出的中间区域中,转子叶片的翼型已经具有尖的后缘,所述尖的后缘由吸入侧的和压力侧的汇聚的第一和第二刺状物R1、R2构成。换言之,转子叶片1'具有钝后缘(图3),所述钝后缘由吸入侧的和压力侧的汇聚的第一和第二刺状物构成,其中相对后缘厚度位于5%或更低的范围内,在这里未示出的尖部区域中,转子叶片的翼型具有尖的后缘(图2)。

[0100] 此外可见的是,在轭区域I的靠近轭的区域I.1中,在吸入侧在后缘F上的第一刺状扩展部R1具有相对刺状部深度,所述刺状部深度小于在转子叶片1'的压力侧D上在后缘F上的第二刺状扩展部R2的相对刺状部深度。还从图12中可见的是,在轭区域I的靠近轭的区域中,在压力侧在后缘上的第二刺状扩展部R2具有定向,所述定向与在吸入侧S上在后缘上的第一刺状扩展部R1的定向相比更加朝压力侧倾斜。这通过如下方式证实,即用于第一刺状扩展部R1的定向角 β_1 大于第二刺状扩展部R2的定向角 β_2 。

[0101] 此外,针对在后缘F上的第二刺状扩展部R2设有刺状扩展部R2的压力侧的下侧R2u的朝向压力侧D拱起的伸展。也就是说针对第二刺状扩展部R2的压力侧的下侧U设有具有增加的曲率的朝向压力侧D拱起的伸展。由此可实现的升力效果还能够通过所谓的拱起的唇口,例如是扰流器唇口或格尼襟翼等,附加地增大,如在图13中视图(C)可见。这引起在压力侧D上的压力增加进而提高升力值。

[0102] 已证实的是,如在图12和图11中作为转子叶片1'所示出的该实施方式实现在沟槽K的区域中的流速,所述流速在0.01Ma和0.1Ma之间,进而尤其辅助并且稳定沟槽涡流构成W沟槽涡流构成。

[0103] 滑翔系数(升阻比),如针对在图13和图14中的视图(A)、(B)和(C)所示(即针对图

11的横截面A-A、B-B和C-C),仍是相对高的,即在直至 5° 的攻角 γ 的情况下,针对剖面A-A滑翔系数仍处于至少直至2.5的值;针对剖面B-B仍处于直至8的值;并且针对剖面C-C仍处于直至甚至10的值。这是由于因为稳定的沟槽涡流W“有效地”提高的翼型深度而最终能实现的滑翔系数,如这从图13中可获知那样,尽管转子叶片1'的结构上的翼型深度明显更小。

[0104] 换言之,如在图13中可见,转子叶片1'的“有效的”翼型深度延长超过本身的后缘F(可以说由于沟槽涡流);尤其延长至少20%,然而直至50%,或者说超出刺状扩展部R1、R2的后缘提高直至20%,然而至少直至10%。

[0105] 所述有利的效果明显通过如下方式显露,即首先在涡流W下游可看到流动分开,而流动还未从刺状扩展部的结构上的后部边缘分离。

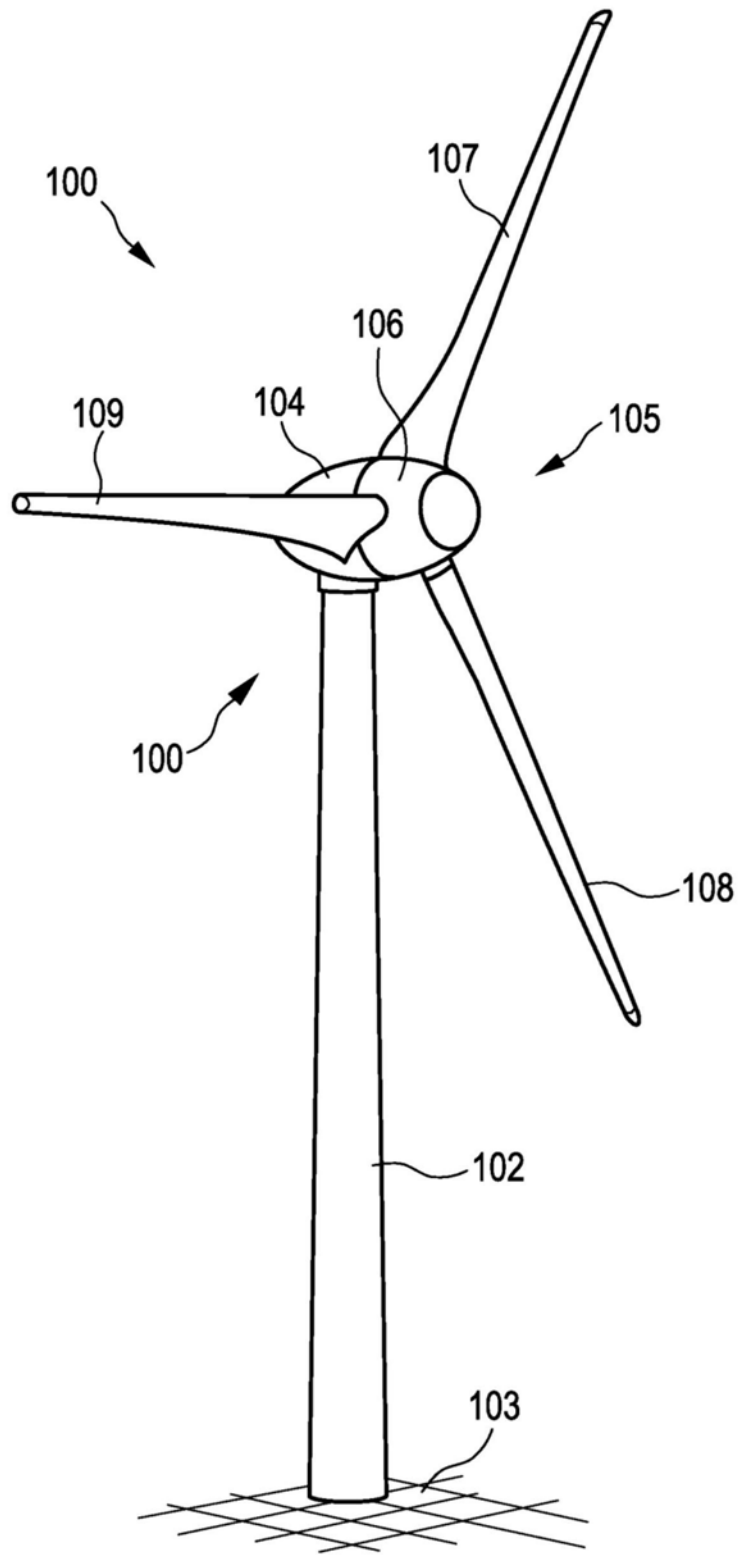


图1

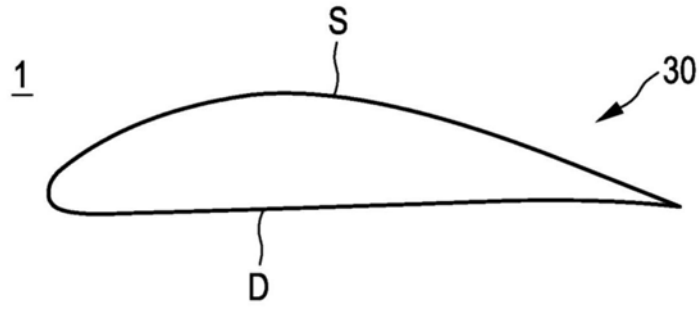


图2

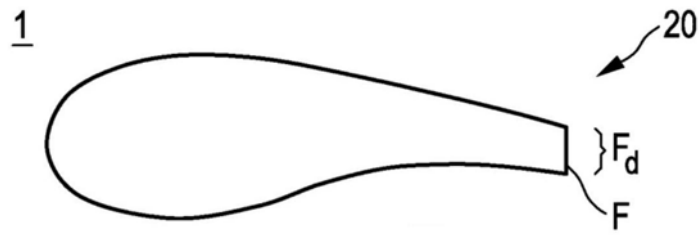


图3

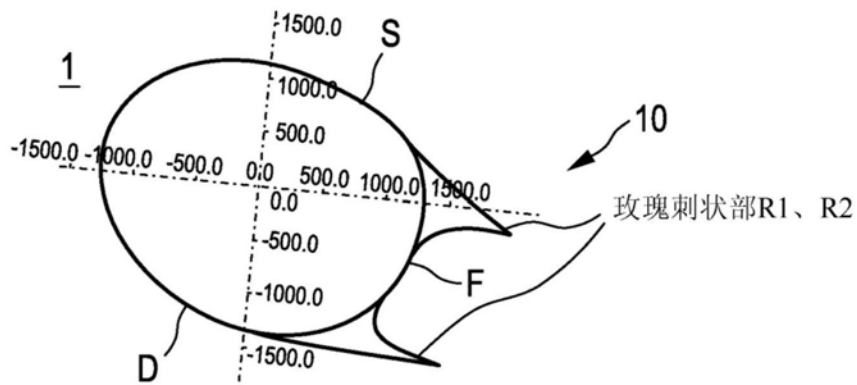


图4

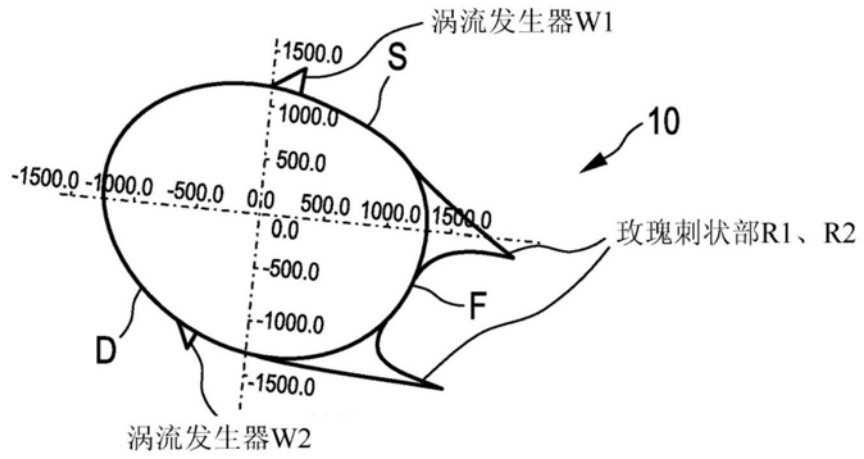


图5

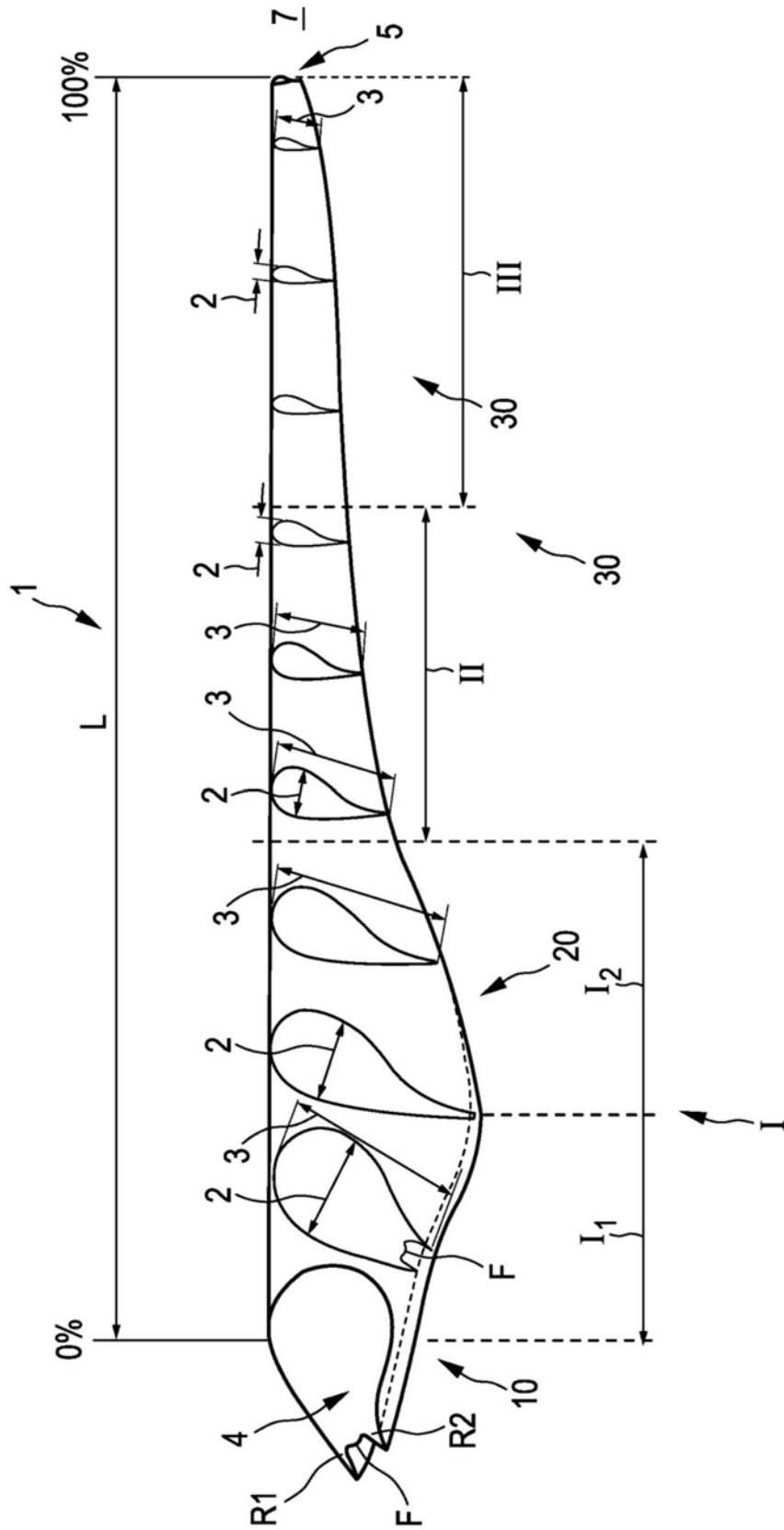


图6

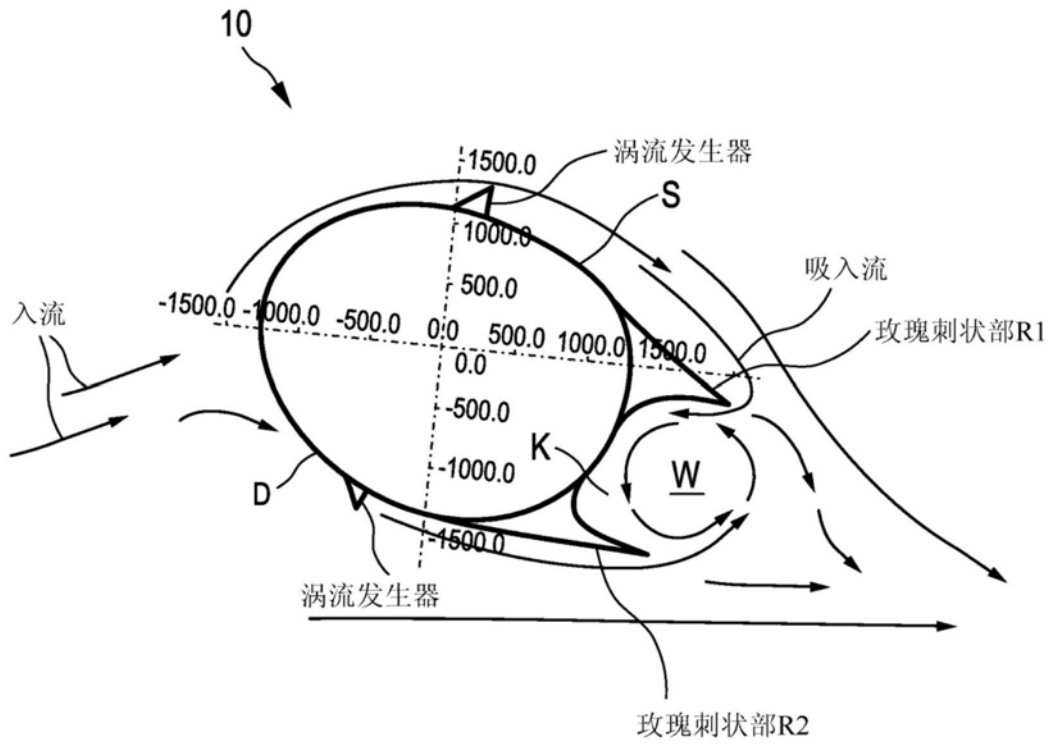
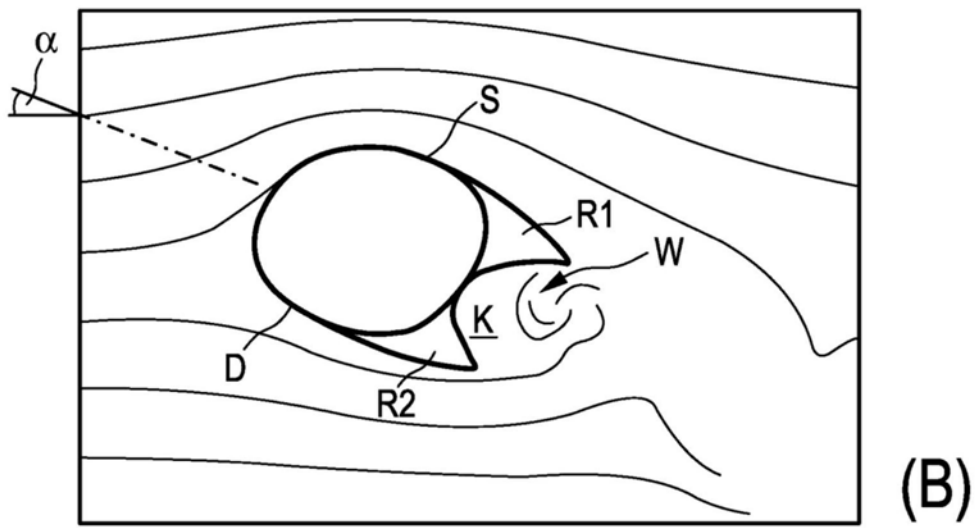
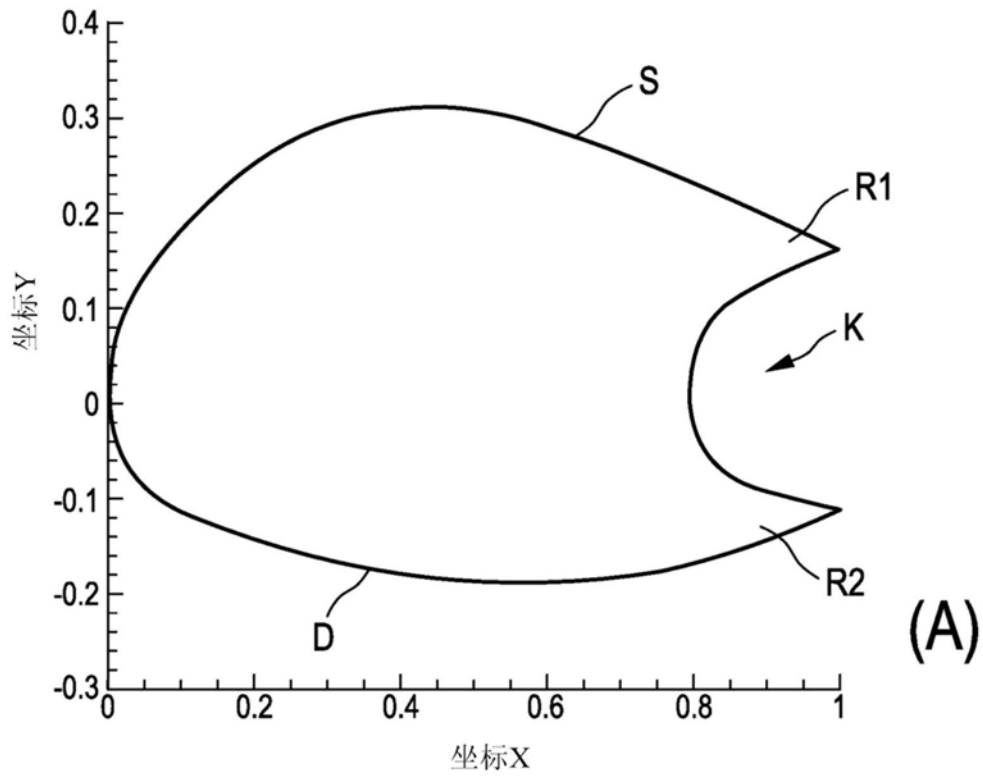


图7



升力: 5.56, 阻力: 1.88, 比L/D: 2.96

图8

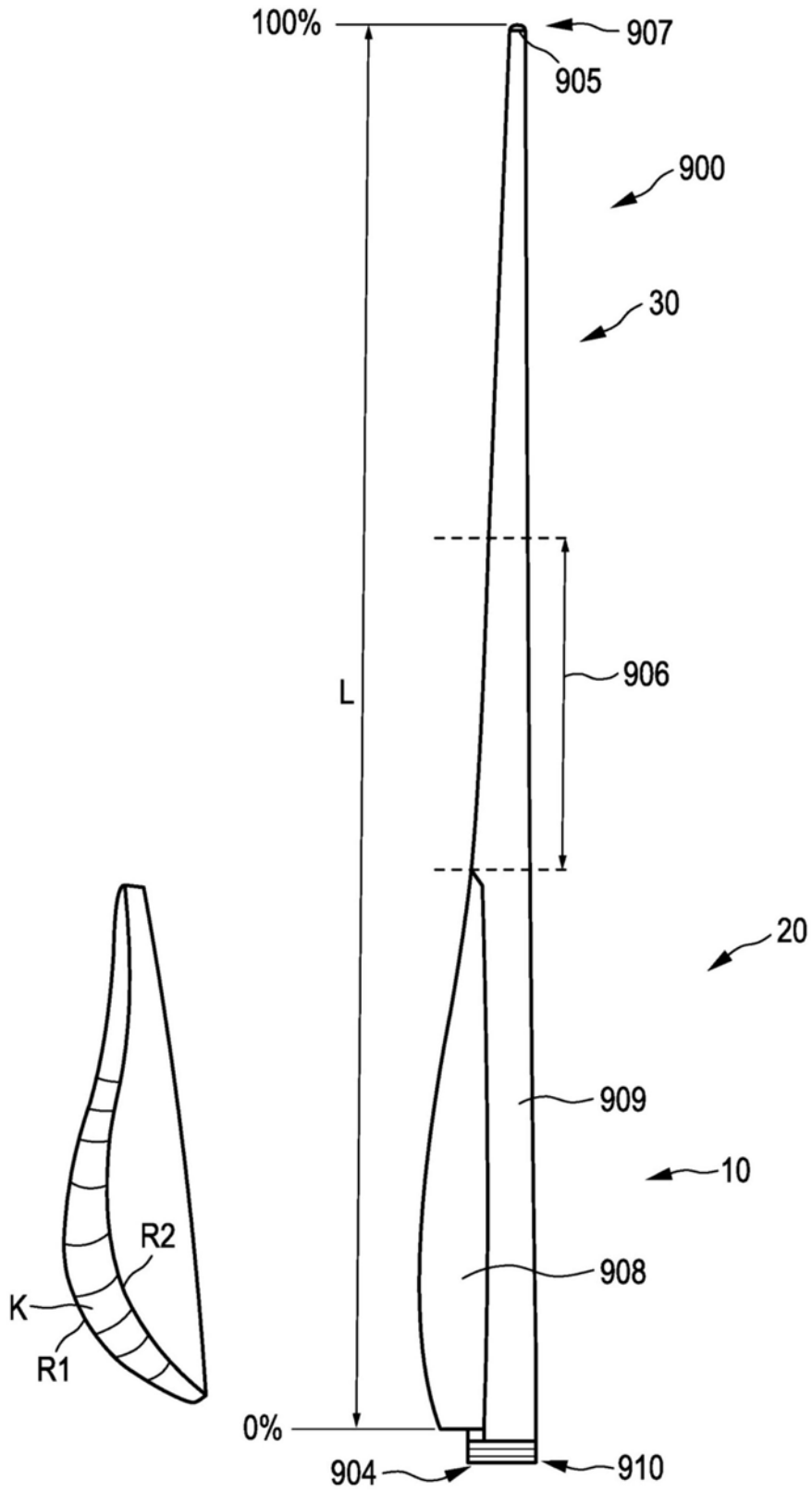


图9

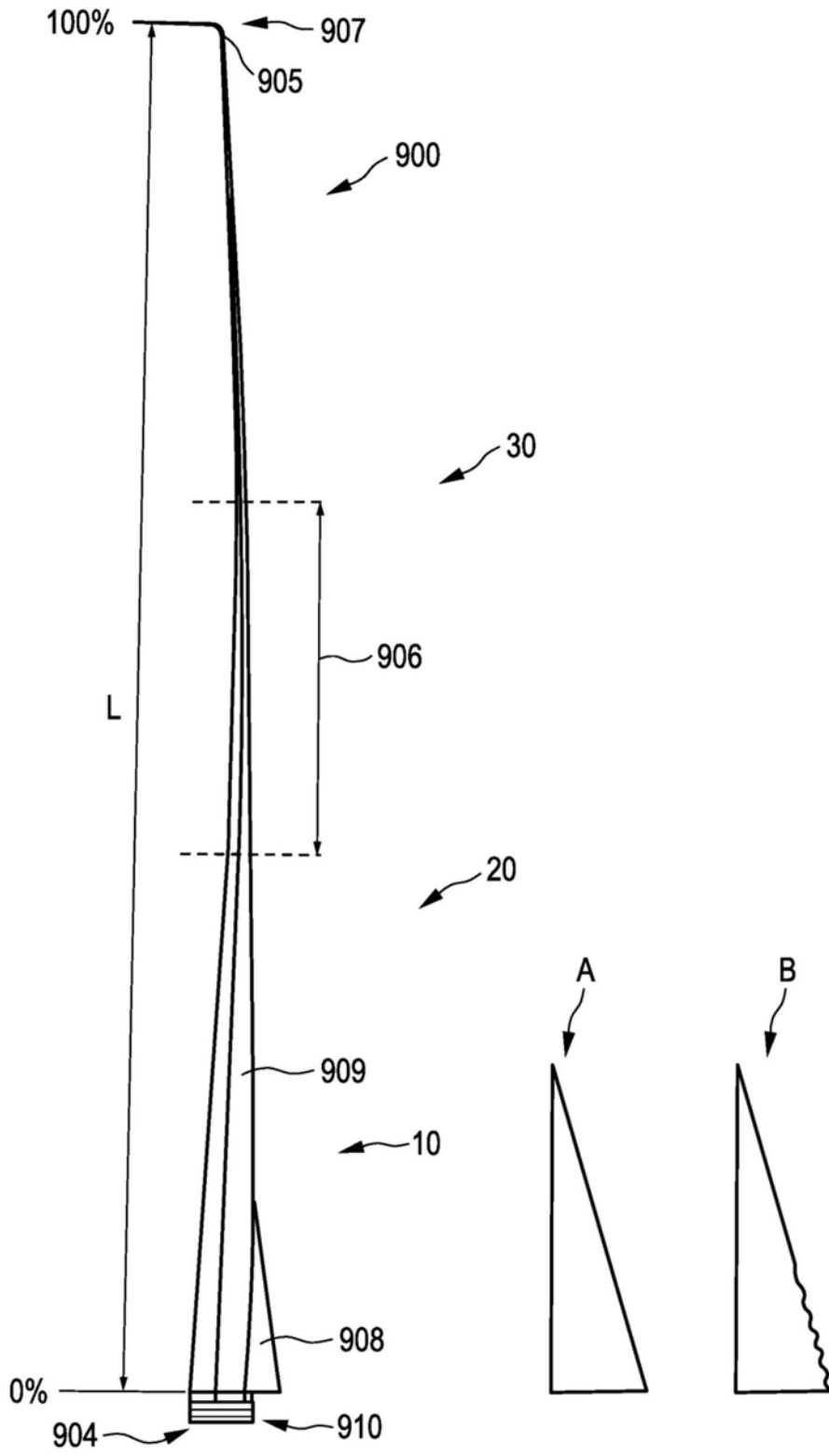


图10

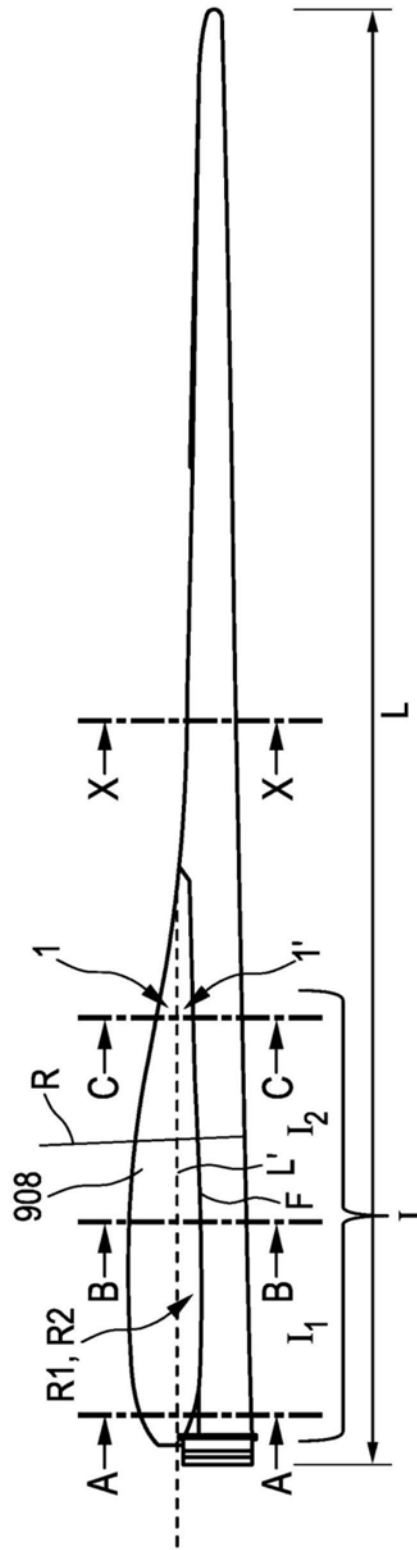


图11

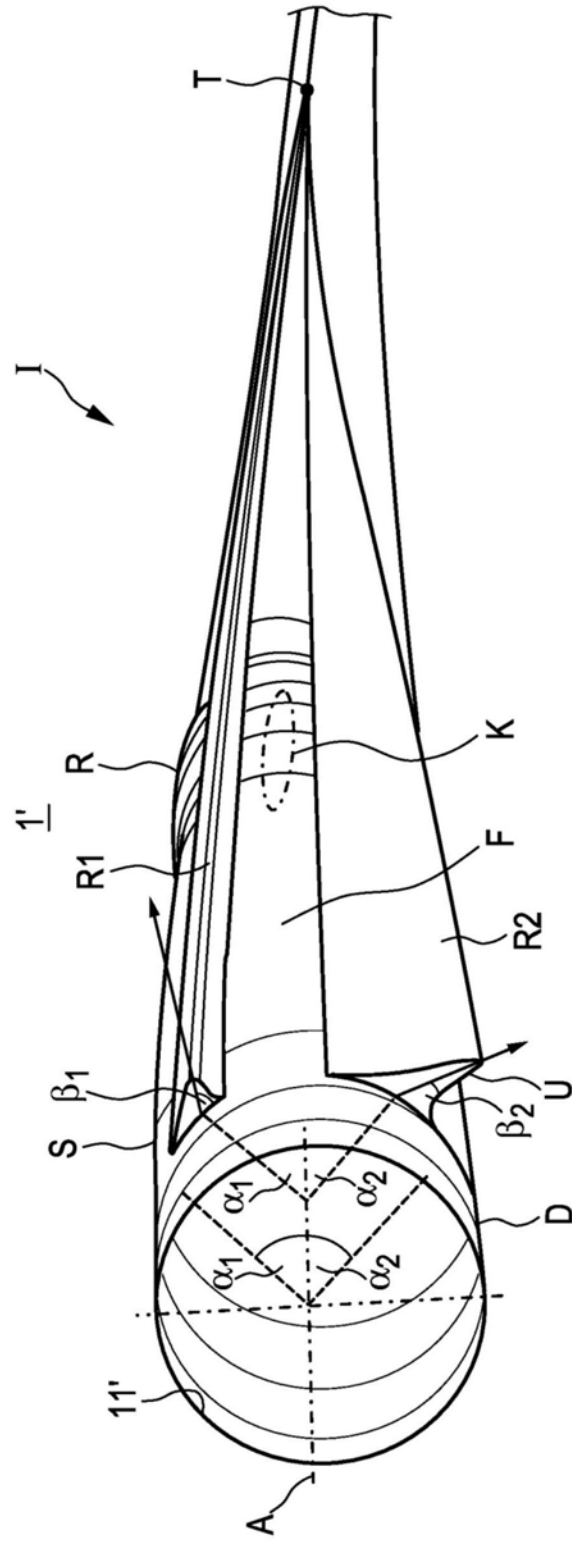


图12

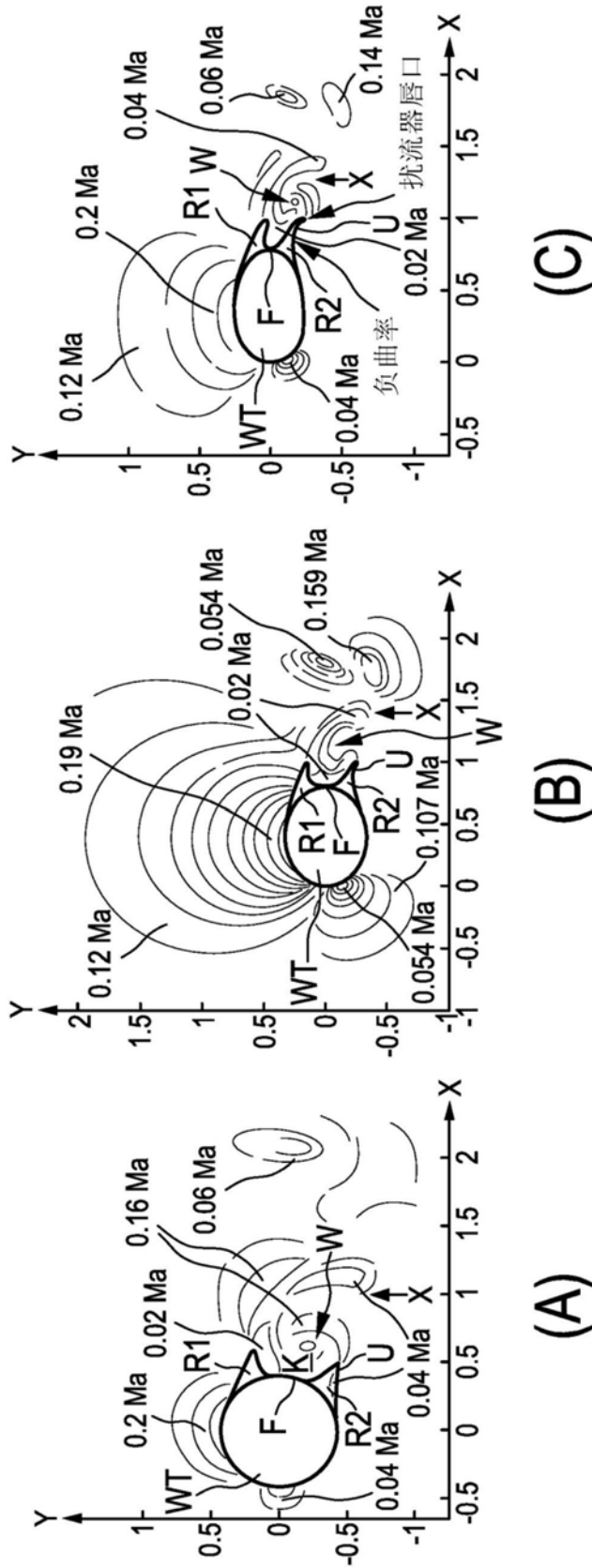


图13

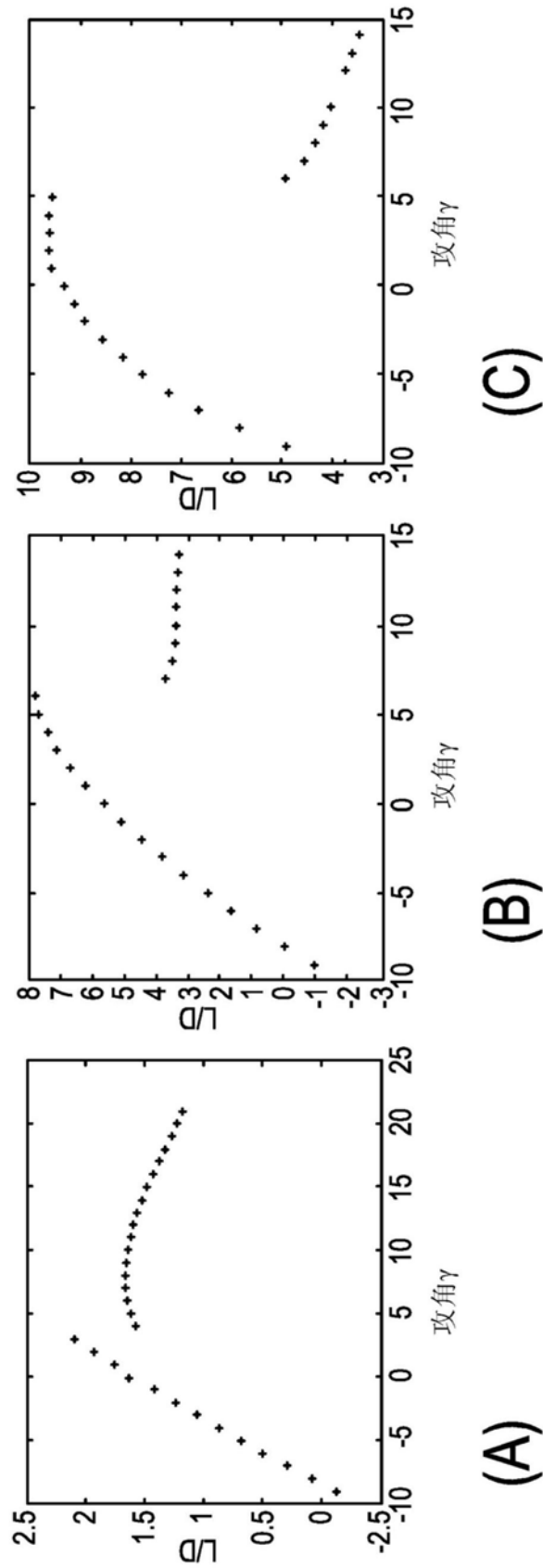


图14