



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 11288852 A

(43) 申请公布日 2021.06.01

(21) 申请号 201980069897.4

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2019.10.24

代理人 安宁 王玮

(30) 优先权数据

18202663.3 2018.10.25 EP

(51) Int.Cl.

F03D 1/06 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

F03D 80/30 (2006.01)

2021.04.22

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/079028 2019.10.24

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/084052 EN 2020.04.30

(71) 申请人 LM风力发电公司

地址 丹麦科灵

(72) 发明人 M·奥布里翁 B·埃里克松

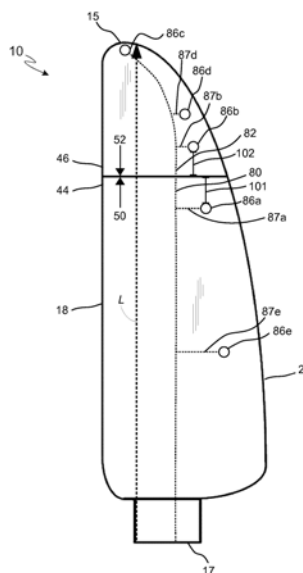
权利要求书3页 说明书12页 附图9页

(54) 发明名称

用于风力涡轮机叶片的雷电防护

(57) 摘要

公开了一种风力涡轮机叶片,风力涡轮机叶片包括第一叶片区段和连接到第一叶片区段的第二叶片区段。风力涡轮机叶片包括用于将雷电电流传导到地面的第一引下导体。叶片在风力涡轮机叶片的外部表面处或在风力涡轮机叶片的外部表面附近进一步包括一个或多个雷电接收器。从一个或多个雷电接收器中的第一雷电接收器到在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面的最小距离可为小于或等于在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面处的风力涡轮机叶片的弦的弦长。



1. 风力涡轮机叶片(10),其沿着纵向轴线从根部端(17)延伸到尖部端(15),所述风力涡轮机叶片包括沿着所述纵向轴线延伸到第一端(50)的第一叶片区段(44)和连接到所述第一叶片区段的第二叶片区段(46),所述第二叶片区段沿着所述纵向轴线从第二端(52)朝向所述尖部端(15)延伸,所述第一叶片区段包括第一翼型区域(34a),所述第二叶片区段包括第二翼型区域(34b),所述风力涡轮机叶片包括用于将雷电电流传导到地面的第一引下导体(80),所述叶片进一步包括在所述风力涡轮机叶片的外部表面(35a、35b)处或在所述风力涡轮机叶片的外部表面(35a、35b)附近的一个或多个雷电接收器(86a-86e),从所述一个或多个雷电接收器中的第一雷电接收器(86a)到所述第一叶片区段的所述第一端的最小距离(101)小于或等于在所述第一端处的所述风力涡轮机叶片的弦(38)的弦长,所述第一雷电接收器与所述第一引下导体成电气连接。

2. 根据权利要求1所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一雷电接收器与所述第一叶片区段的所述第一端之间的最小距离(101)小于所述第一端处的弦长的一半。

3. 根据权利要求1或2所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一雷电接收器与所述第一叶片区段的所述第一端之间的最小距离(101)小于1m,例如小于50cm,例如小于10cm。

4. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段包括所述第一雷电接收器,并且所述第二叶片区段包括第二雷电接收器(86b)。

5. 根据权利要求4所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第二雷电接收器与所述第一引下导体成电气连接,或与用于将雷电电流传导到地面的第二引下导体(82)成电气连接。

6. 根据权利要求4或5所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第二雷电接收器与所述第二叶片区段的所述第二端之间的最小距离(102)小于或等于在所述第二端处的所述风力涡轮机叶片的弦的弦长,例如小于在所述第二端处的弦长的一半。

7. 根据权利要求4至6中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一雷电接收器与所述第一叶片区段的所述第一端之间的最小距离(101)等于或大致等于所述第二雷电接收器与所述第二叶片区段的所述第二端之间的最小距离(102)。

8. 根据权利要求4至7中一项所述的风力涡轮机叶片,
其中,所述第一雷电接收器与所述第二雷电接收器之间的最小距离小于在所述第一端处的弦长的两倍,例如小于在所述第一端处的弦长,且/或

其中,所述第一雷电接收器与所述第二雷电接收器之间的最小距离小于5m,例如小于4m,例如小于3m,例如小于2m,例如小于2m,例如小于1m,例如小于50cm。

9. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述一个或多个雷电接收器包括在所述尖部端处或在所述尖部端附近定位在所述第二叶片区段中的尖部雷电接收器(86c),所述尖部雷电导体与用于将雷电电流传导到地面的引下导体成电气连接,例如

其中,所述尖部雷电接收器与所述尖部端之间的最小距离小于5m,例如小于3m,例如小于2m,例如小于1m,例如小于20cm。

10. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述一个或多个雷电接收器包括定位在所述第一雷电接收器与所述根部端之间的雷电接收器(86d)。

11. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段通过翼梁(60)来连接到所述第二叶片区段。

12. 根据权利要求11所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段包括翼梁固定元

件(40),并且所述第二叶片区段包括所述翼梁,并且所述翼梁至少由一个或多个紧固元件(100)在所述翼梁固定元件处固定就位,每个紧固元件将所述翼梁固定元件的相应部分刚性地附接到所述翼梁的相应部分,例如

其中,所述一个或多个紧固元件中的第一紧固元件是至少部分地延伸穿过所述翼梁固定元件和所述翼梁的销(100)。

13.根据权利要求12所述的风力涡轮机叶片,其中,所述一个或多个紧固元件中的至少一个相对于所述纵向轴线定位在所述第一雷电接收器的纵向位置与所述第一端的纵向位置之间的纵向位置处,或者在与所述第一雷电接收器大致相同的纵向位置处。

14.根据权利要求11至13中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述一个或多个雷电接收器中的至少一个位于相对于所述纵向轴线的纵向位置处,在距所述翼梁的端部的纵向位置小于1m的纵向距离之内,且/或

其中,所述翼梁的端部与所述一个或多个雷电接收器中的一个之间的最小距离小于1m。

15.根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述风力涡轮机叶片是分裂叶片、两部件叶片、或分段叶片。

16.根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述一个或多个雷电接收器仅位于所述第一叶片区段中或仅位于所述第二叶片区段中。

17.根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,从所述第一雷电接收器到所述第一叶片区段的所述第一端的所述最小距离在15-75cm之内。

18.根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,到所述第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于所述弦长的雷电接收器的总数等于或小于四个。

19.根据权利要求18所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段和所述第二叶片区段的压力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的两个。

20.根据权利要求18和19中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段和所述第二叶片区段的吸力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的两个。

21.根据权利要求18所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段和所述第二叶片区段的压力侧正好包括所述雷电接收器的总数中的两个。

22.根据权利要求18和21中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段和所述第二叶片区段的吸力侧正好包括所述雷电接收器的总数中的两个。

23.根据权利要求18所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段和所述第二叶片区段的压力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的一个。

24.根据权利要求18和23中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,所述第一叶片区段和所述第二叶片区段的吸力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的一个。

25.根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片,其中,距所述第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于所述弦长且位于所述风力涡轮机叶片的外部表面处或位于所述风力涡轮机叶片的外部表面附近的雷电接收器的表面的总面积最多等于所述弦长的平方的0.1倍。

26.根据权利要求25所述的风力涡轮机叶片,其中,所述表面的总面积最多等于所述弦长的平方的0.05倍。

27. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 在所述第一叶片区段与所述第二叶片区段之间的界面处的所述风力涡轮机叶片的所述外部表面是非金属的。

28. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述一个或多个雷电接收器中的至少一个并不邻接所述第一叶片区段的所述第一端。

29. 根据前述权利要求中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述第一叶片区段包括第一叶片壳体, 所述第一叶片壳体具有第一壳体壁, 所述第一壳体壁限定所述第一叶片区段的轮廓, 并且其中, 所述第二叶片区段包括第二叶片壳体, 所述第二叶片壳体具有第二壳体壁, 所述第二壳体壁限定所述第二叶片区段的轮廓。

30. 根据权利要求29所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述一个或多个雷电接收器中的至少一个集成到所述第一壳体壁或所述第二壳体壁中。

31. 根据权利要求29和30中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述一个或多个雷电接收器中的至少一个布置在所述第一壳体壁或所述第二壳体壁中的贯穿开口中。

32. 根据权利要求29至31中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述一个或多个雷电接收器是多个雷电接收器, 并且其中, 所述第一壳体壁和/或所述第二壳体壁被构造成并不在至少所述第一雷电接收器与所述多个雷电接收器中的其他雷电接收器中的任何一个之间传导电流。

33. 根据权利要求29至32中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述一个或多个雷电接收器是多个雷电接收器, 并且其中, 至少所述第一雷电接收器并不直接电气地连接到所述多个雷电接收器中的其他雷电接收器中的任何一个。

34. 根据权利要求29至33中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 所述一个或多个雷电接收器是多个雷电接收器, 并且其中, 至少所述第一雷电接收器仅经由所述第一引下导体电气地连接到所述多个雷电接收器中的另一个。

35. 根据权利要求29至34中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 当所述风力涡轮机叶片在操作中时, 所述一个或多个雷电接收器中的至少一个并不参与维持在所述第一叶片区段与所述第二叶片区段之间的弹性连接。

36. 根据权利要求29至34中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 当所述风力涡轮机叶片在操作中时, 所述一个或多个雷电接收器中没有一个参与维持在所述第一叶片区段与所述第二叶片区段之间的弹性连接。

37. 根据权利要求29至36中一项所述的风力涡轮机叶片, 其中, 在所述第一叶片区段与所述第二叶片区段之间的连接是由连接器件提供的弹性连接, 并且其中, 所述一个或多个接收器中的至少一个与所述连接器件分离。

用于风力涡轮机叶片的雷电防护

技术领域

[0001] 本公开涉及风力涡轮机叶片的雷电(lightning)防护,更具体地,本公开涉及以下风力涡轮机叶片的雷电防护:该风力涡轮机叶片包括第一叶片区段和第二叶片区段,并且可选地包括更多叶片区段。

背景技术

[0002] 随着风力涡轮机和风力涡轮机叶片在尺寸上增大,风力涡轮机遭遇雷击(lightning striking)的风险增加。因此,为风力涡轮机并且特别是为风力涡轮机叶片提供雷电防护措施是越来越有利益的。

[0003] 众所周知的是,为用于风力涡轮机的叶片提供雷电接收器,雷电接收器在叶片内部,与能够将雷电电流传导到大地(earth)的金属引下导体(down conductor)成电气连接。

[0004] 纤维增强聚合物的风力涡轮机叶片并且特别地风力涡轮机叶片的空气动力学壳体通常在模具中制造,其中叶片的压力侧和吸力侧是通过以下来分别地制造的:将玻璃纤维垫和/或其他纤维增强材料(如,碳纤维)布置在两个模具部件中的每一个中。然后,将两个半部定位在彼此的顶部上,并将两个半部胶接在一起。通过转动和重新定位整个半部模具,叶片部件可定位在彼此的顶部上。

[0005] 随着对用于风力涡轮机的叶片的需求趋向于使叶片的长度增加,同时出现的需求是制造具有增加的刚度和相比较而言更低重量的叶片。实现这些特性的一种方式其是将各种类型的纤维组合在叶片的层压结构(laminate)中,例如,组合玻璃纤维和碳纤维是一种选择,并且同样地,碳纤维或玻璃纤维可有利地与钢纤维组合。因此,与其他类型的纤维的组合也是可能的,并且排他地采用碳纤维或其他合适的纤维类型也是一种选择。在所谓的混合层压结构中,例如玻璃纤维与碳纤维的组合可存在以下问题:即纤维类型中的一些是电气地导电的,例如碳纤维和钢纤维。

[0006] 直接进入层压结构中的雷击可引起对叶片的损坏,叶片包括电气地导电的纤维和非导电的纤维,因为总的电阻是相对高的,并且雷击将引起导电限位将被极大地加热,并且由此被弱化。这在以下情况下特别成问题:具有相比较而言差的导电性的纤维(例如碳纤维),并且在以下情况下也特别成问题:在混合层压结构中,混合层压结构具有成例如毡形的纤维,其中个体毡可例如具有一小部分的电气地导电的纤维和更大部分的例如并非电气地导电的玻璃纤维。

[0007] 此外,随着对用于风力涡轮机的叶片的需求趋向于使叶片的长度增大,越来越关注的是以下概念:制造分区段的叶片,用于在安装现场处组装。为了允许风力涡轮机叶片的个体区段之间的安全且可靠的连接而提供的元件给保护风力涡轮机叶片免受由雷击造成的损坏带来了另一个挑战。包括多个区段的此类风力涡轮机叶片可被称为分裂(split)叶片,或两部分叶片,或分段(segmented)叶片,或类似物。

[0008] 欧洲专利申请公开EP1950414A2:大量金属材料位于叶片的实际壳体壁中,并且甚至穿过两个叶片部件之间的界面。这显著地增加了在叶片区段之间的界面处发生雷击的风

险。

[0009] 在欧洲专利申请公开EP2243955A2中,在两个叶片区段之间的界面处,壳体壁完全是金属的。金属整流部覆盖了从一个叶片区段跨越到另一个叶片区段的叶片连接器元件。这具有与以上关于EP1950414A2所描述的缺点相同的缺点,例如在对避免雷击至关重要的地方吸引雷电。

[0010] 在欧洲专利申请公开EP1950414A2和欧洲专利申请公开EP2243955A2中,雷电导体都参与了将两个叶片区段弹性地固定在一起。此类结构使得叶片更容易被雷电损坏。

发明内容

[0011] 本公开的目的是提供用于风力涡轮机叶片的雷电防护,风力涡轮机叶片例如为分裂或分段叶片,其中风力涡轮机叶片是通过以下来制造的:制造两个(或更多)叶片区段,并且然后连接它们。这也使得运输风力涡轮机叶片更容易。特别地,本公开的目的是减少或消除特别是风力涡轮机叶片的易损部件遭到雷击的风险。

[0012] 本公开的另一个目的是提供一种备选的风力涡轮机叶片,其具有降低的被雷击损坏的风险。

[0013] 本发明的第一方面提供了一种风力涡轮机叶片,所述风力涡轮机叶片沿着纵向轴线从根部端延伸到尖部端,所述风力涡轮机叶片包括:沿着纵向轴线延伸到第一端的第一叶片区段,以及连接到第一叶片区段的第二叶片区段,第二叶片区段沿着纵向轴线从第二端朝向尖部端延伸,第一叶片区段包括第一翼型区域,第二叶片区段包括第二翼型区域,风力涡轮机叶片包括用于将雷电电流传导到地面的第一引下导体,所述叶片进一步包括在风力涡轮机叶片的外部表面处或在风力涡轮机叶片的外部表面附近的一个或多个雷电接收器,从一个或多个雷电接收器中的第一雷电接收器到第一叶片区段的第一端的最小距离小于或等于在第一端处的风力涡轮机叶片的弦的弦长,第一雷电接收器与第一引下导体成电气连接。

[0014] 风力涡轮机叶片的弦可为在风力涡轮机叶片的前缘与后缘之间的直线。

[0015] 在一些实施例中,第一叶片区段从根部端延伸到第一端。在一些实施例中,第二叶片区段从第二端延伸到尖部端。在一些实施例中,风力涡轮机叶片包括:沿着纵向轴线从根部端延伸到第一端的第一叶片区段、以及连接到第一叶片区段的第二叶片区段,第二叶片区段沿着纵向轴线从第二端延伸到尖部端,第一叶片区段包括根部区域和第一翼型区域,第二叶片区段包括第二翼型区域和尖部端,风力涡轮机叶片包括用于将雷电电流传导到地面的第一引下导体,所述叶片进一步包括在风力涡轮机叶片的外部表面处或在风力涡轮机叶片的外部表面附近的一个或多个雷电接收器,从一个或多个雷电接收器中的第一雷电接收器到第一叶片区段的第一端的最小距离小于或等于在第一端处的风力涡轮机叶片的弦的弦长,第一雷电接收器与第一引下导体成电气连接。

[0016] 一个或多个雷电接收器优选地包括导电材料,例如碳纤维增强聚合物或金属(例如钢或铜或铝或其他金属)或合金。雷电接收器中导电金属的比例越大,则雷电接收器将在吸引雷电方面具有越高的效率。

[0017] 在许多情况下,叶片的周长约为相同位置处弦长的两倍。因此,作为弦长的备选,从一个或多个雷电接收器中的所述第一雷电接收器到第一叶片区段的第一端的最小距离

小于第一叶片区段的第一端处的周长的一半。

[0018] 在一些实施例中,从第一雷电接收器到第一叶片区段的第一端的最小距离小于第一端处的弦长的一半,例如小于所述弦长的三分之一,例如小于所述弦长的四分之一。

[0019] 在一些实施例中,第一雷电接收器与第一端之间的最小距离小于5m,例如小于4m,例如小于3m,例如小于2m,例如小于1m,例如小于50cm,例如小于10cm。

[0020] 在一些实施例中,第一雷电接收器定位在第一叶片区段中,例如在第一翼型区域中。在一些实施例中,第一雷电接收器定位在第二叶片区段中,例如在第二翼型区域中。

[0021] 在一些实施例中,第一叶片区段包括第一雷电接收器,并且第二叶片区段包括第二雷电接收器。

[0022] 在一些实施例中,第二雷电接收器与第一引下导体成电气连接。在一些实施例中,第二雷电接收器与第二引下导体成电气连接。

[0023] 在一些实施例中,第二雷电接收器与第二叶片区段的第二端之间的最小距离小于或等于第二端处的风力涡轮机叶片的弦的弦长,例如小于第二端处的弦长的一半。

[0024] 第二雷电接收器与第二叶片区段的第二端之间的最小距离可为小于1m,例如小于50cm,例如小于10cm。

[0025] 在一些实施例中,第一雷电接收器与第一叶片区段的第一端之间的最小距离等于或大致等于第二雷电接收器与第二叶片区段的第二端之间的最小距离。例如,在一些实施例中,第一雷电接收器与第一叶片的第一端之间的最小距离在比第二雷电接收器与第二叶片的第二端之间的最小距离短20%到比第二雷电接收器与第二叶片的第二端之间的最小距离长20%之间。在一些实施例中,第一雷电接收器与第一叶片的第一端之间的最小距离在比第二雷电接收器与第二叶片的第二端之间的最小距离短10%到比第二雷电接收器与第二叶片的第二端之间的最小距离长10%之间。在一些实施例中,第一雷电接收器与第一叶片的第一端之间的最小距离在比第二雷电接收器与第二叶片的第二端之间的最小距离短5%到比第二雷电接收器与第二叶片的第二端之间的最小距离长5%之间。

[0026] 作为示例,第一雷电接收器与第二雷电接收器之间的最小距离可为小于第一端处的弦长的两倍,例如小于第一端处的弦长。

[0027] 在一些实施例中,第一雷电接收器与第二雷电接收器之间的最小距离小于5m,例如小于4m,例如小于3m,例如小于2m,例如小于2m,例如小于1m,例如小于50cm。

[0028] 在一些实施例中,一个或多个雷电接收器包括定位在尖部端处或在尖部端附近的第二叶片区段中的尖部雷电接收器,所述尖部雷电导体与用于将雷电流传导到地面的引下导体成电气连接。在一些实施例中,尖部雷电接收器与尖部端之间的最小距离小于5m,例如小于3m,例如小于2m,例如小于1m,例如小于20cm。

[0029] 在一些实施例中,一个或多个雷电接收器包括定位在第一雷电接收器与根部端之间的雷电接收器。

[0030] 在一些实施例中,第一叶片区段通过翼梁(spar beam)连接到第二叶片区段。在一些实施例中,第一叶片区段包括翼梁固定元件,并且第二叶片区段包括翼梁,并且翼梁至少由一个或多个紧固元件在翼梁固定元件处固定就位,每个紧固元件将翼梁固定元件的相应部分刚性地附接到翼梁的相应部分。在一些实施例中,第二叶片区段包括翼梁固定元件,并且第一叶片区段包括翼梁,并且翼梁至少由一个或多个紧固元件在翼梁固定元件处固定就

位,每个紧固元件将翼梁固定元件的相应部分刚性地附接到翼梁的相应部分。

[0031] 在一些实施例中,一个或多个紧固元件中的第一紧固元件是至少部分地延伸穿过翼梁固定元件和翼梁的销。

[0032] 在一些实施例中,一个或多个紧固元件中的至少一个相对于纵向轴线定位在第一雷电接收器的纵向位置与第一端的纵向位置之间的纵向位置处,或者在与第一雷电接收器大致相同的纵向位置处。在一些实施例中,元件(例如一个或多个紧固元件中的一个)可沿着横向于纵向轴线的轴线任意定位。在一些情况下,横向于纵向轴线的轴线与由风力涡轮机叶片的弦限定的轴线是简答地相同的,风力涡轮机叶片的弦例如为:一个或多个紧固元件中的一个的位置处的弦、或第一雷电接收器的位置处的弦、或第一叶片区段的第一端处的弦。因此,从另一个视角来看,纵向轴线可垂直于由叶片的弦限定的弦轴线。纵向轴线可作为Z轴操作,弦轴线可作为X轴和高度轴线操作,即垂直于纵向轴线,并且弦轴线可为Y轴。因此,在备选规划中,一个或多个紧固元件中的至少一个具有Z坐标,所述Z坐标在第一雷电接收器的Z坐标与第一端的Z坐标之间,或者一个或多个紧固元件中的至少一个具有的Z坐标等于或大致等于第一雷电接收器的Z坐标。

[0033] 在一些实施例中,一个或多个雷电接收器中的至少一个位于相对于纵向轴线的纵向位置处,其中与翼梁的端部的纵向位置相距的纵向距离小于1m。在一些实施例中,翼梁的端部与一个或多个雷电接收器中的一个之间的最小距离小于5m,例如小于2m,例如小于1m。

[0034] 例如,风力涡轮机叶片可为分裂叶片,两部件叶片,或分段叶片。

[0035] 在一些实施例中,第一引下导体被构造成将雷电电流传导到地面。在一些实施例中,第一引下导体可构造成用于将雷电电流传导到地面。

[0036] 在一些实施例中,第二引下导体可被构造成用于例如经由第一引下导体将雷电电流传导到地面,或通过电流路径将雷电电流传导到地面,或将雷电电流至少传导到风力涡轮机叶片的根部区域,例如与第一引下导体的到地面的电流路径分离。

[0037] 在一些实施例中,风力涡轮机叶片的第一侧和风力涡轮机叶片的第二侧各自包括一个或多个雷电接收器。例如,风力涡轮机叶片的叶片压力侧可包括一个或多个雷电接收器,并且风力涡轮机叶片的叶片吸力侧可包括一个或多个雷电接收器。为了吸引雷电,雷电接收器电气地连接到一个或多个引下导体,例如如上文所描述的那样。

[0038] 第一雷电接收器和/或第二雷电接收器越靠近第一端和/或第二端,第一雷电接收器就将越有可能吸引否则可在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面处雷击的雷电。

[0039] 第一雷电接收器可被定位为与第一叶片区段和第二叶片区段两者接触,因此从第一叶片区段延伸到第二叶片区段。

[0040] 通常,每个雷电接收器可电气地连接到相应的引下导体,两个或更多雷电接收器可共享同一引下导体,或者所有雷电接收器可电气地连接到共同的引下导体,例如第一引下导体。

[0041] 翼梁可定位为使得:第一梁位置位于第一翼型区域中,且第二梁位置位于第二翼型区域中。例如,翼梁可包括碳纤维,例如碳纤维元件,其例如具有超过40%的纤维体积比,例如超过50%的纤维体积比,例如超过60%的纤维体积比。例如,翼梁可包括拉挤的碳纤维增强元件。翼梁可包括一个或多个拉挤的纤维增强元件,例如第一拉挤的纤维增强元件和/或第二拉挤的纤维增强元件。一个或多个拉挤的纤维增强元件中的一个(例如第一拉挤的纤

维增强元件和/或第二拉挤的纤维增强元件)可为拉挤的碳纤维增强元件。

[0042] 翼梁还可包括玻璃纤维,或可备选地包括玻璃纤维。

[0043] 例如,翼梁的横截面可为矩形的、圆形的、椭圆形的、或具有直边和曲边的组合。

[0044] 风力涡轮机叶片可通过以下来制造:将第一壳体部件连接到第二壳体部件,以形成风力涡轮机叶片的大致闭合的壳体(典型地,在根部端处是开口的)。

[0045] 风力涡轮机叶片可具有吸力侧和压力侧。例如,第一壳体部件可形成风力涡轮机叶片的压力侧,并且第二壳体部件可形成风力涡轮机叶片的吸力侧。

[0046] 壳体(例如第一壳体部件和/或第二壳体部件)可包括一个或多个梁帽(spar cap),例如第一梁帽和/或第二梁帽。梁帽(例如第一梁帽和/或第二梁帽)可为纤维增强的主层压结构。梁帽(例如第一梁帽和/或第二梁帽)可包括电气地导电的纤维,例如碳纤维。

[0047] 在一些实施例中,从第一雷电接收器到第一叶片区段的第一端的所述最小距离为在15-75cm之内。

[0048] 在一些实施例中,到第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于所述弦长的雷电接收器的总数等于或小于四个。在一些实施例中,总数允许为达到高达八个,即最多八个。在第一叶片区段的第一端的弦长距离之内的一个或多个接收器可以以各种方式分布,例如均匀地或不均匀地分布在第一叶片区段与第二叶片区段两者之间,或者完全在第一叶片区段中或完全在第二叶片区段中;接收器可为完全在压力侧上或完全在吸力侧上,或均匀地或不均匀地分布在压力侧与吸力侧之间。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的压力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的两个,或者在总数最多为八个的情况下最多包括四个。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的吸力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的两个,或者在总数最多为八个的情况下最多包括四个。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的压力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的两个,例如所述雷电接收器的总数中的最多一个(在第一叶片区段中或第二叶片区段中)。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的吸力侧最多包括所述雷电接收器的总数中的两个,例如所述雷电接收器的总数中的最多一个(在第一叶片区段中或第二叶片区段中)。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的吸力侧正好包括所述雷电接收器的总数中的两个。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的压力侧正好包括所述雷电接收器的总数中的两个。在一些实施例中,第一叶片区段和第二叶片区段的吸力侧正好包括所述雷电接收器的总数中的两个,并且第一叶片区段和第二叶片区段的压力侧正好包括所述雷电接收器的总数中的两个。在一些实施例中,所述雷电接收器的总数中的所有均具有距第一叶片区段的第一端的最小距离,所述最小距离等于或小于弦长CL。

[0049] 在一些实施例中,在风力涡轮机叶片的外部表面处或在风力涡轮机叶片的外部表面附近的一个或多个雷电接收器的表面的总面积最多等于弦长的平方的0.1倍。在一些实施例中,对接收器来说仅需要的是:距第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于弦长。换句话说,具有距第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于弦长且位于风力涡轮机叶片的外部表面处或位于风力涡轮机叶片的外部表面附近的雷电接收器的表面的总面积最多等于弦长的平方的0.1倍。在一些实施例中,总面积可最多为所述弦长的平方的0.05倍,例如最多为弦长的平方的0.02倍。

[0050] 在一些实施例中,在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面处的风力涡轮机叶

片的所述外部表面是非金属的。例如,其可包括纤维增强材料,纤维增强材料例如基于玻璃纤维或碳纤维或它们的组合。

[0051] 在一些实施例中,一个或多个雷电接收器中的至少一个并不邻接第一叶片区段的第一端。在一些实施例中,没有以下雷电接收器邻接第一叶片区段的第一端:雷电接收器具有距最多弦长的第一叶片区段的第一端的最小距离。

[0052] 在一些实施例中,第一叶片区段包括第一叶片壳体,第一叶片壳体具有第一壳体壁,第一壳体壁限定第一叶片区段的轮廓,并且第二叶片区段包括第二叶片壳体,第二叶片壳体具有第二壳体壁,第二壳体壁限定第二叶片区段的轮廓。

[0053] 在一些实施例中,一个或多个雷电接收器中的至少一个集成到第一壳体壁或第二壳体壁中。例如,其布置在第一壳体壁或第二壳体壁中的开口中,例如贯穿开口。这使得接收器从第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面偏移,这提高了叶片的结构完整性并降低了像这样的将雷电吸引到界面的风险。

[0054] 在一些实施例中,一个或多个雷电接收器是多个雷电接收器,并且第一壳体壁和/或第二壳体壁被构造成并不在至少第一雷电接收器与多个雷电接收器中的其他雷电接收器中的任何一个之间传导电流。这样所具有的优点是:雷电仅被吸引到接收器,而不是被吸引到接收器以及像这样的将壳体壁之内的一个接收器连接到另一个接收器的任何电气连接器件。

[0055] 在一些实施例中,至少第一雷电接收器仅经由第一引下导体并且因此经由壳体壁电气地连接到多个雷电接收器中的另一个。在一些实施例中,除了经由第一引下导体和/或另一个引下导体之外,没有两个雷电接收器是电气地连接的。

[0056] 在一些实施例中,当风力涡轮机叶片在操作中时,一个或多个雷电接收器中的至少一个并不参与维持第一叶片区段与第二叶片区段之间的弹性连接。这至少部分地将任何电气雷电电流与结构地至关重要的构件分开。

[0057] 在一些实施例中,当风力涡轮机叶片在操作中时,一个或多个雷电接收器中没有参与维持第一叶片区段与第二叶片区段之间的弹性连接。这进一步在雷击下将电气雷电电流与结构地至关重要的构件分开。

[0058] 在一些实施例中,第一叶片区段与第二叶片区段之间的连接是由连接器件提供的弹性连接,并且一个或多个接收器中的至少一个(例如雷电接收器中的全部)与那些连接器件分离。

[0059] 尽管已经联系各种实施例来描述,但是上述一些实施例容易与这些实施例中所涉及的一个或多个雷电接收器布置的特征组合,使得从这些一个或多个雷电接收器中的任何一个到第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于弦长CL。在一些实施例中,从所述一个或多个雷电接收器中的任何一个到第一叶片区段的第一端的最小距离等于或小于弦长CL的一半,即最多CL/2。

附图说明

[0060] 在下文中将关于附图更详细地描述本公开的实施例。这些图示出了实施本发明的一种方式,并且不应被解释为限制至落在所附权利要求组的范围之内的其他可能的实施例。

- [0061] 图1是示意图,图示了示例性风力涡轮机。
- [0062] 图2是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片。
- [0063] 图3是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片的横截面。
- [0064] 图4是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片。
- [0065] 图5是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片。
- [0066] 图6是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片。
- [0067] 图7是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片。
- [0068] 图8是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片的内部部件。
- [0069] 图9A是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片的横截面。
- [0070] 图9B是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片的横截面。
- [0071] 图10示意性地图示了了风力涡轮机叶片的第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面附近的接收器。
- [0072] 图11示意性地图示了区域,该区域具有等于弦长的平方的尺寸。

具体实施方式

- [0073] 除非另有说明,否则图并不一定按比例绘制。
- [0074] 图1图示了根据所谓的“丹麦概念”的常规现代迎风式风力涡轮机2,其具有塔架4、机舱6以及转子,转子具有大致水平的转子轴。转子包括毂部8和从毂部8径向地延伸的三个叶片10,每个叶片具有最靠近毂部的叶片根部16和最远离毂部8的叶片尖部14。本发明并不限于在此类型的风力涡轮机中使用。
- [0075] 图2示出了示例性风力涡轮机叶片10的示意性视图。风力涡轮机叶片10具有常规风力涡轮机叶片的形状,具有根部端17和尖部端15,并且包括:最靠近毂部的根部区域30、成型或翼型区域34、以及在根部区域30与翼型区域34之间的过渡区域32。叶片10包括前缘18和后缘20,当叶片安装在毂部上时,前缘18面对叶片10的旋转方向,并且后缘20面对前缘18的相反方向。
- [0076] 翼型区域34(也称为成型区域)优选地具有关于产生毂部旋转方面的理想的或近乎理想的叶片形状,而根部区域30由于结构方面的考虑具有大致圆形或椭圆形的横截面,这例如使得将叶片10安装到毂部更容易且更安全。根部区域30的直径可沿整个根部区域30是恒定的。在该示例中,出现在风力涡轮机叶片10中的过渡区域32具有从根部区域30的圆形形状向翼型区域34的翼型轮廓逐渐变化的过渡轮廓。过渡区域32的弦长典型地在从毂部向外的方向上增加。翼型区域34具有翼型轮廓,所述翼型轮廓具有在叶片10的前缘18与后缘20之间延伸的弦。
- [0077] 应注意到的是,叶片的不同区段通常并不具有共同的平面,因为叶片可沿着从根部区域到尖部的方向扭曲和/或弯曲(即预弯),这最常见于以下情况:例如以或多或少地补偿叶片的局部速度,叶片的局部速度取决于距毂部的距离。
- [0078] 风力涡轮机叶片10包括叶片壳体,所述叶片壳体例如可包括两个叶片壳体部件:第一叶片壳体部件24和第二叶片壳体部件26,例如至少部分地由纤维增强聚合物制成。第一叶片壳体部件24例如可为压力侧的部件或逆风叶片部件。第二叶片壳体部件26例如可为吸力侧的部件或顺风叶片部件。第一叶片壳体部件24和第二叶片壳体部件26典型地沿粘合

线或胶接接头28连接在一起,例如胶接在一起,所述粘合线或胶接接头28沿叶片10的后缘20和前缘18延伸。典型地,叶片壳体部件24、26的根部端具有半圆形或半椭圆形的外横截面形状,当第一壳体部件和第二壳体部件连接时,半圆形或半椭圆形的外横截面形状形成根部区域,例如圆形或椭圆形的根部区域。

[0079] 图3是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片10的横截面视图,例如风力涡轮机叶片10的翼型区域的横截面视图。风力涡轮机叶片10包括:前缘18、后缘20、压力侧24、吸力侧26、第一梁帽74和第二梁帽76。

[0080] 风力涡轮机叶片10具有在前缘18与后缘20之间的弦38(想象的)。

[0081] 风力涡轮机叶片10包括抗剪腹板40,例如前缘抗剪腹板和后缘抗剪腹板。备选地,作为示例,抗剪腹板40可为翼梁盒,翼梁盒具有翼梁侧,包括后缘翼梁侧和前缘翼梁侧。

[0082] 图4是示意图,图示了示例性风力涡轮机叶片10,例如大致如先前图片中的风力涡轮机叶片10。风力涡轮机叶片10包括:前缘18、后缘20、尖部端15和根部端17。

[0083] 图4中的风力涡轮机叶片10是所谓的分裂叶片,或两部件叶片,或分段叶片。示例性风力涡轮机叶片10包括第一叶片区段44和第二叶片区段46。第一叶片区段44沿着纵向轴线L从根部端17延伸到第一叶片区段44的第一端50。第二叶片区段46沿着纵向轴线L从第二端52延伸到尖部,例如尖部端15。第一叶片区段44包括:根部区域30、第一翼型区域34a以及在根部区域30与第一翼型区域34a之间的过渡区域32。第二叶片区段46包括第二翼型区域34b,第二翼型区域34b具有尖部端15。第一叶片区段44和第二叶片区段46可例如用翼梁来机械地连接。

[0084] 发明人已经发现的是,第一叶片区段与第二叶片区段之间的叶片界面趋向于吸引雷电。如果雷电击中在叶片界面处,其可对叶片造成损坏,例如,因为电流可流经具有相对较低的导电率的叶片部件,这可导致叶片的发热,并且随后弱化。最终,这可为叶片失效的直接原因。

[0085] 已经由发明人发现的是,将第一雷电接收器放置为靠近叶片界面可显著缓解该问题。在与第一雷电接收器所在的叶片区段相对的叶片区段上包括第二雷电接收器,可甚至更进一步地降低由雷电造成损坏的风险。

[0086] 雷电接收器吸引那些否则可能打击在叶片界面处的雷电,从而可避免或至少减少雷电击中叶片界面的破坏效应。

[0087] 因此,图4图示了第一雷电接收器86a,第一雷电接收器86a布置在第一翼型区域34a中,并暴露于第一翼型区域的外部表面35a。第一雷电接收器86a例如经由第一雷电接收器连接器元件87a与第一引下导体80成电气接触,第一雷电接收器连接器元件87a例如是电气线缆或其他电气地导电的元件,包括例如不锈钢和/或铜和/或其他导电材料或合金。如先前所描述,备选地,第一雷电接收器86a可位于第二翼型区域中。

[0088] 第一叶片区段44在叶片区段界面45处与第二叶片区段相遇。第一雷电接收器布置在叶片区段界面45附近,使得雷击被雷电接收器吸引,而不是被叶片区段界面吸引。一种有利的布置包括:将第一雷电接收器定位为尽可能地靠近叶片区段界面,同时通过在雷电接收器周围留下足够的叶片材料来维持结构完整性和强度,使雷电接收器附近的结构(例如纤维结构)不会弱化。

[0089] 在第一雷电接收器86a与叶片区段界面45之间的在15-75cm之内(例如在25-60cm

之内,例如在30-40cm之内,例如35cm)的最小距离101已经被证明为在降低雷电击中叶片区段界面的风险方面是有效的。

[0090] 在图4中的示例中,雷电接收器的暴露表面具有圆形形状。15-25mm的直径,例如17-20mm的直径,例如18.5mm的直径,可提供良好的雷电吸引,同时不会增加不必要的重量,并且不会影响雷电接收器附近的风力涡轮机叶片的纤维结构的强度。更大的直径(或在非圆形雷电接收器的情况下,最大的表面尺寸)可为期望的,例如大于25mm,例如至少40mm,例如至少50mm,例如至少100mm。该尺寸也可基于局部弦长来选择,并且例如在0.01倍局部弦长与0.5倍局部弦长之间,例如在0.02倍局部弦长与0.25倍弦长之间。

[0091] 图5图示了风力涡轮机叶片,该风力涡轮机叶片类似于图4中的风力涡轮机叶片,但是具有布置在第二翼型区域34b中的附加的第二雷电接收器86b。第二雷电接收器暴露于第二翼型区域的外部表面35b,以尽可能有效地吸引雷电。第二雷电接收器86b例如经由第二雷电接收器连接器元件87b与第二引下导体82成电气接触,第二雷电接收器连接器元件87b例如是电气线缆或其他电气地导电的元件,包括例如不锈钢和/或铜和/或其他导电材料或合金。第一引下导体80和第二引下导体82以及线缆87a、87b布置在叶片10内,以保护它们免受来自环境因素(例如来自尘、雨、雪、冰、雹等)的机械和/或化学磨损。如所描述,在该示例中,雷电接收器86a和86b暴露在第一和第二翼型区域34a、34b的外部表面35a、35b处,以便尽可能有效地吸引雷电。

[0092] 在第二雷电接收器86b与叶片区段界面45之间的在15-75cm之内(例如在25-60cm之内,例如在30-40cm之内,例如35cm)的最小距离102已经被证明为在避免雷电击中叶片区段界面45处方面是有效的。

[0093] 在第一雷电接收器86a与第二雷电接收器86b之间的在30与150cm之间(例如在50与120cm之间,例如在60与80cm之间,例如70cm)的最小距离已经被证明为在避免雷电击中叶片区段界面45处方面是有效的。

[0094] 在图5的示例中,雷电接收器的暴露表面具有圆形形状。15-25mm的直径,例如17-20mm的直径,例如18.5mm的直径可提供良好的雷电吸引,同时不会增加不必要的重量,并且不影响雷电接收器附近的风力涡轮机叶片的纤维结构的强度。更大的直径(或在非圆形雷电接收器的情况下,最大的表面尺寸)可为期望的,例如大于25mm,例如至少40mm,例如至少50mm,例如至少100mm。该尺寸也可基于局部弦长来选择,并且例如在0.01倍局部弦长与0.5倍局部弦长之间,例如在0.02倍局部弦长与0.25倍弦长之间。

[0095] 图6是示意图,图示了与图4和图5中的那些示例性风力涡轮机叶片相类似的示例性风力涡轮机叶片10,但具有附加的雷电接收器86c、86d、86e。第一和第二雷电接收器86a和86b提供与关于图4和图5所描述的相同的功能。在图6中,附加的雷电接收器86c坐落于叶片的尖部附近。尖部15是在毂部的一圈旋转期间的最高点,并且因此,在所有其他条件相同的情况下,更容易被雷电击中。尖部接收器86c降低了雷击损坏叶片的风险。为了将电流引导离开尖部,雷电接收器86c例如连接到第二引下导体82。

[0096] 附加的接收器86d和86e进一步吸引雷电,降低雷电击中叶片区段界面45处和/或叶片的其他非接地部件的风险。对应的线缆87d和87e提供接收器到引下导体的电气连接,在该示例中,分别到第二引下导体82和第一引下导体80。在图4至8中的示例中,第一和第二引下导体是一个且同一单个引下导体。

[0097] 图7示意性地图示了风力涡轮机叶片10,作为示例,风力涡轮机叶片10包括用于将第一区段44连接到第二叶片区段46的内部翼梁60。图7还图示了用于提供叶片强度的抗剪腹板40的部分。翼梁60可与如图4-6中所图示的示例性风力涡轮机叶片10中的任何一个一起使用。

[0098] 翼梁也可为至风力涡轮机叶片的内部部件的雷电的闪络(flashover)的源。在一些情况下,翼梁可结合有碳纤维,并且在一些情况下还结合有导电金属,例如铜或钢,典型地以包围翼梁的纤维或网状物的形式。在此情况下,如图7中所图示,在翼梁的端部附近布置雷电接收器86d可大大降低或消除发生至翼梁的闪络的风险。类似地,雷电接收器可放置在翼梁的另一端部处或在翼梁的另一端部附近。

[0099] 在该示例中,翼梁60建构到第二叶片区段46中,并经由销100刚性地连接到第一叶片区段。在此结构中,销可为雷电闪络的源。在销100附近具有雷电接收器(例如雷电接收器86a和/或86b)的情况下,此发生至销的闪络的风险大大降低。如图7中所图示,销位于第一雷电接收器86a与第二雷电接收器86b之间,至少沿着纵向轴线L在第一雷电接收器86a的纵向位置与第二雷电接收器86b的纵向位置之间中。

[0100] 图8图示了叶片,其中吸力侧壳体部件26被移除,以示出风力涡轮机叶片10的某些内部部件。

[0101] 可看到的是翼梁具有延伸穿过抗剪腹板和翼梁的销100,由此翼梁被固定就位,并且因此,第一叶片区段44和第二叶片区段46牢固地固定在一起。

[0102] 另外,图8示出了放置在叶片的另一侧上(即在第一壳体部件24中)的雷电接收器96a-96e,以便也为该侧增加雷电保护。相应的线缆97a-97e提供到引下导体80、82的电气连接,就像在关于图4-7示出和描述的叶片侧上的雷电接收器86a-86e那样。作为所示相应的线缆97a-97e的备选方案,到引下导体80、82的电气连接可由金属支架(例如不锈钢支架)提供。

[0103] 图9A图示了在风力涡轮机叶片的第一叶片区段44中的横截面。抗剪腹板40和翼梁60通过销100机械地连接,销100在相对于纵向轴线的大致横向方向上延伸穿过第一叶片区段44。更具体地,图9A示出了穿过销100的中间的横截面,以图示销如何通过延伸穿过抗剪腹板40和翼梁60两者而将第一叶片区段和第二叶片区段牢固地固定在一起。

[0104] 图9B示出了在图9A中所指示的横截面视图“截面C-C”。图9B示出了从第一叶片区段44的第一端50附近的抗剪腹板部件40中的一个的侧面的视图。如所示,销100延伸穿过抗剪腹板40,并且穿过位于抗剪腹板部件40之间的翼梁60。在此视图中,翼梁60被抗剪腹板部件40隐藏,因为翼梁定位在两个抗剪腹板部件40之间。

[0105] 在图9B中,销示出为具有圆形横截面。可使用其他形状,例如矩形形状,例如正方形形状,或者提供所需强度的其他合适的形状。

[0106] 当使用由金属制成的销时,在所有其他条件相同的情况下,更容易发生至销的闪络。如果发生这种情况,则电流将流过电气地具有更高电阻的部件,例如抗剪腹板和/或翼梁。由于它们的相对高的电阻率,这些部件可能会变热,并且可能因此经历结构失效。因此,如上文所描述,雷电接收器优选地布置在销的附近,以便提供导电路径或多个导电路径,导电路径或多个导电路径减少或甚至消除至销的闪络的风险。

[0107] 图10示意性地图示了在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面附近在风力涡轮

轮机叶片的压力侧上的两个接收器86f和86g。虚线矩形图示了区域110,区域110延伸到第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面的任一侧一个弦长CL。在一些实施例中,期望的是至少部分地重叠或邻接该区域的雷电接收器的总数是低的。(与区域110邻接或重叠的接收器也具有距第一叶片区段的第一端的最小距离,等于或小于弦长CL。)该区域110中相对低数量的接收器在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面附近提供风力涡轮机叶片的更高的结构完整性。在图10中的示例中,存在与区域110重叠或邻接的两个接收器,即接收器86f和86g。

[0108] 图11示意性地图示了区域120,区域120具有等于弦长CL的平方(即 CL^2)的尺寸。无论在图10中图示的区域110中的接收器的数目是多少(1、2、3、4、5……),在风力涡轮机叶片的外部表面处或在风力涡轮机叶片的外部表面附近,这些接收器的表面的总面积最多等于弦长的平方的0.1倍,即最多是区域120的0.1倍。接收器86f和86g的总面积大约为区域120的2%,即大约为区域120的0.02倍。保持低的接收器面积确保了高的结构完整性。

[0109] 术语“接收器”应被理解为以捕捉和传导雷电电流的视角来构造的电气地导电的物件。

[0110] 贯穿本公开,如果没有另外规定,则术语“导电”应理解为电气地导电。

[0111] 已经参考所选实施例描述了本发明。然而,本发明的范围不限于所图示的实施例,并且可在不脱离权利要求的范围的情况下进行改变和修改。

[0112] 参考符号列表

- 2 风力涡轮机
- 4 塔架
- 6 机舱
- 8 毂部
- 10 叶片
- 14 叶片尖部
- 15 尖部端
- 16 叶片根部
- 17 根部端
- 18 前缘
- 20 后缘
- 24 第一叶片壳体部件(压力侧)
- 26 第二叶片壳体部件(吸力侧)
- 28 结合线/胶接接头
- 30 根部区域
- 32 过渡区域
- 34 翼型区域
- 34a 第一翼型区域
- 34b 第二翼型区域
- 35a 第一翼型区域的外部表面
- 35a 第二翼型区域的外部表面

- 38 弦
- 40 抗剪腹板或翼梁盒的翼梁侧
- 44 第一叶片区段
- 45 在第一叶片区段与第二叶片区段之间的界面
- 46 第二叶片区段
- 50 第一叶片区段的第一端
- 52 第二叶片区段的第二端
- 60 翼梁
- 74 第一梁帽
- 76 第二梁帽
- 80 第一引下导体
- 82 第二引下导体
- 86a-86g 雷电接收器
- 87a-87e 雷电接收器连接器元件
- 96a-96e 雷电接收器
- 97a-97e 雷电接收器连接器
- 100 销
- 110 界面附近
- 120 弦的平方
- CL 弦长
- L 风力涡轮机叶片的纵向轴线

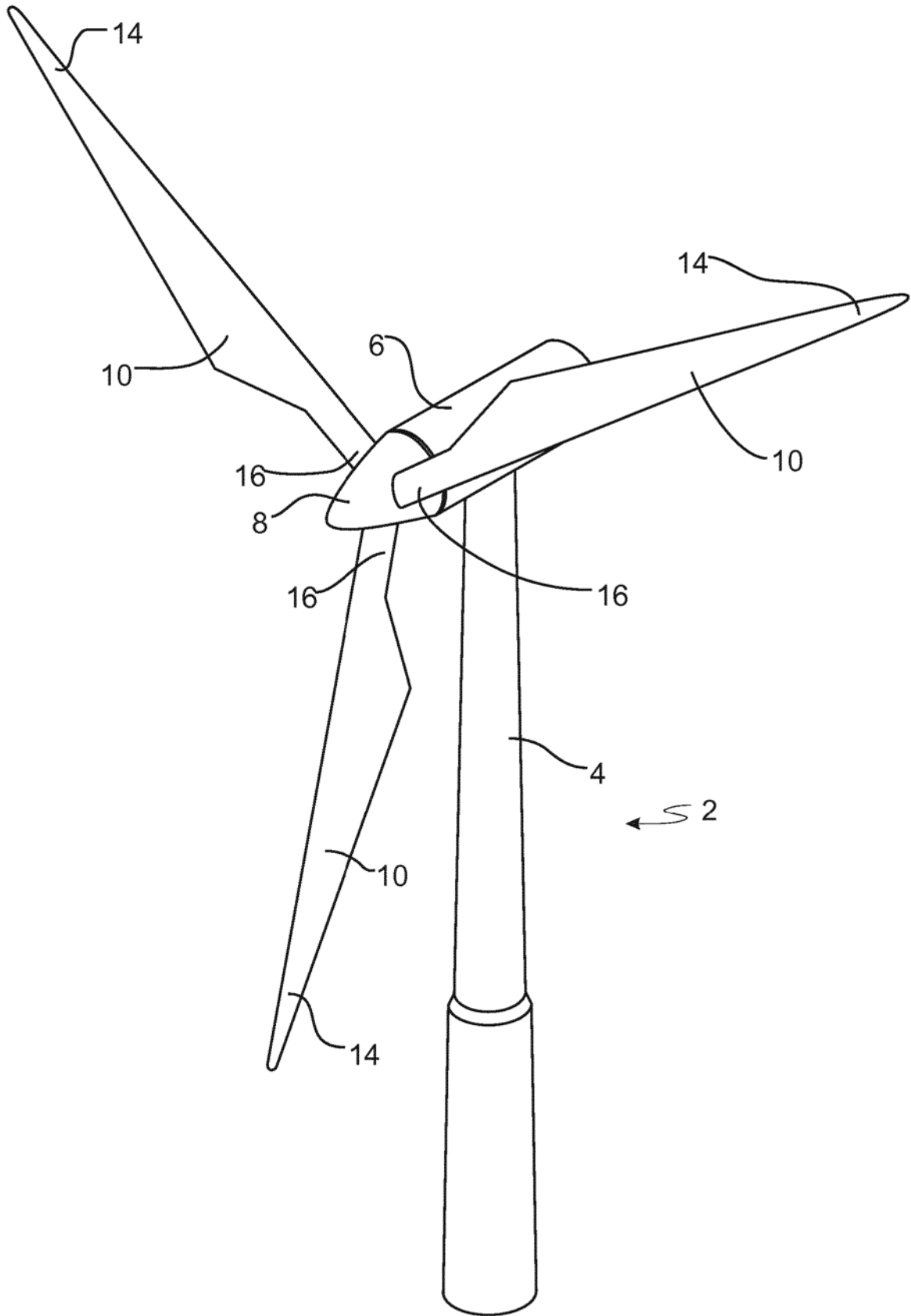


图 1

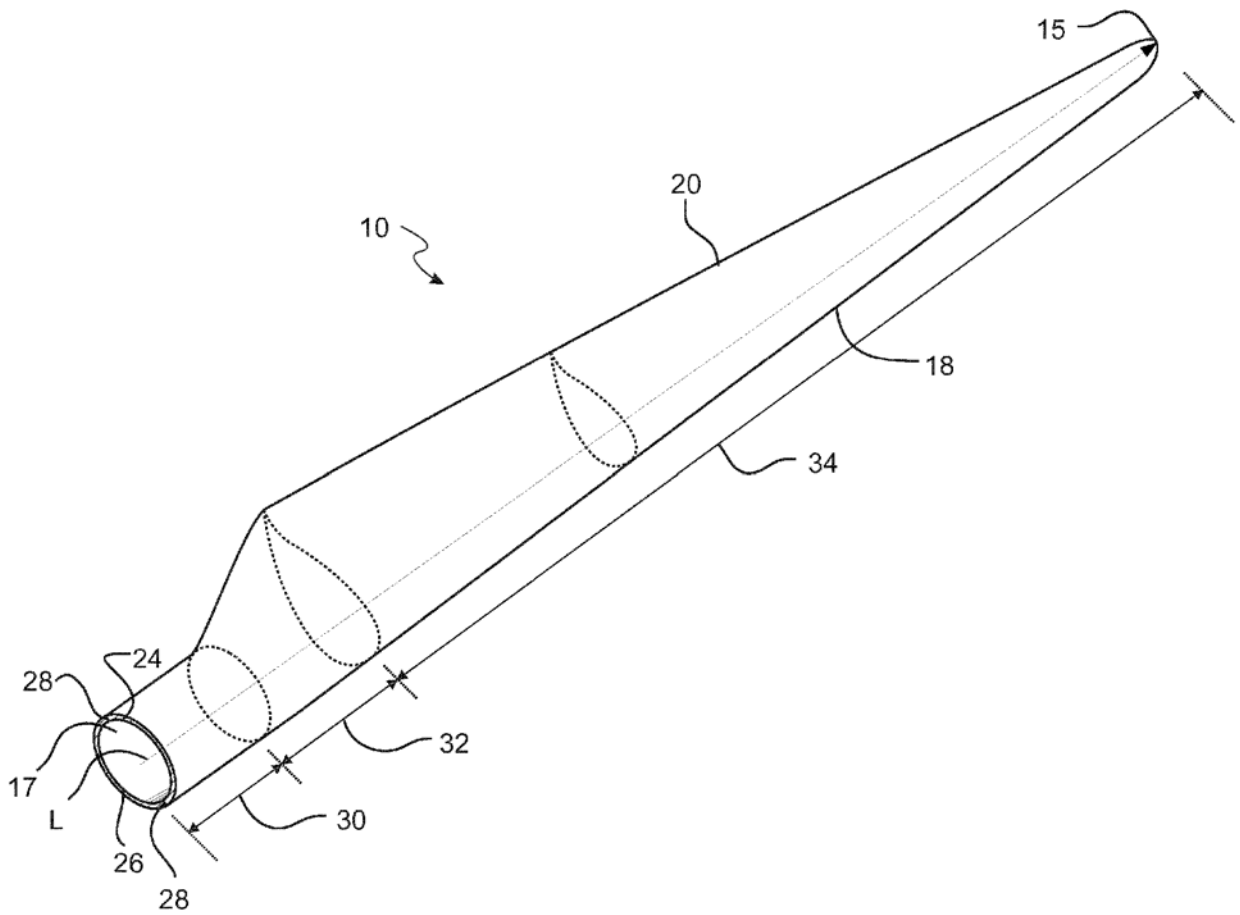


图 2

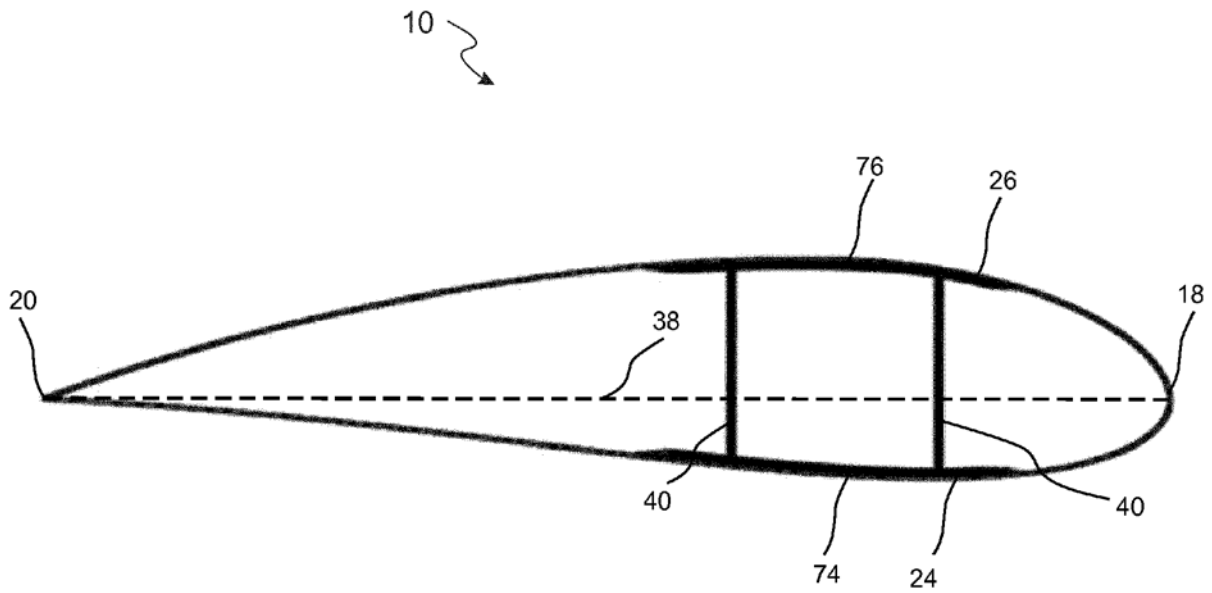


图 3

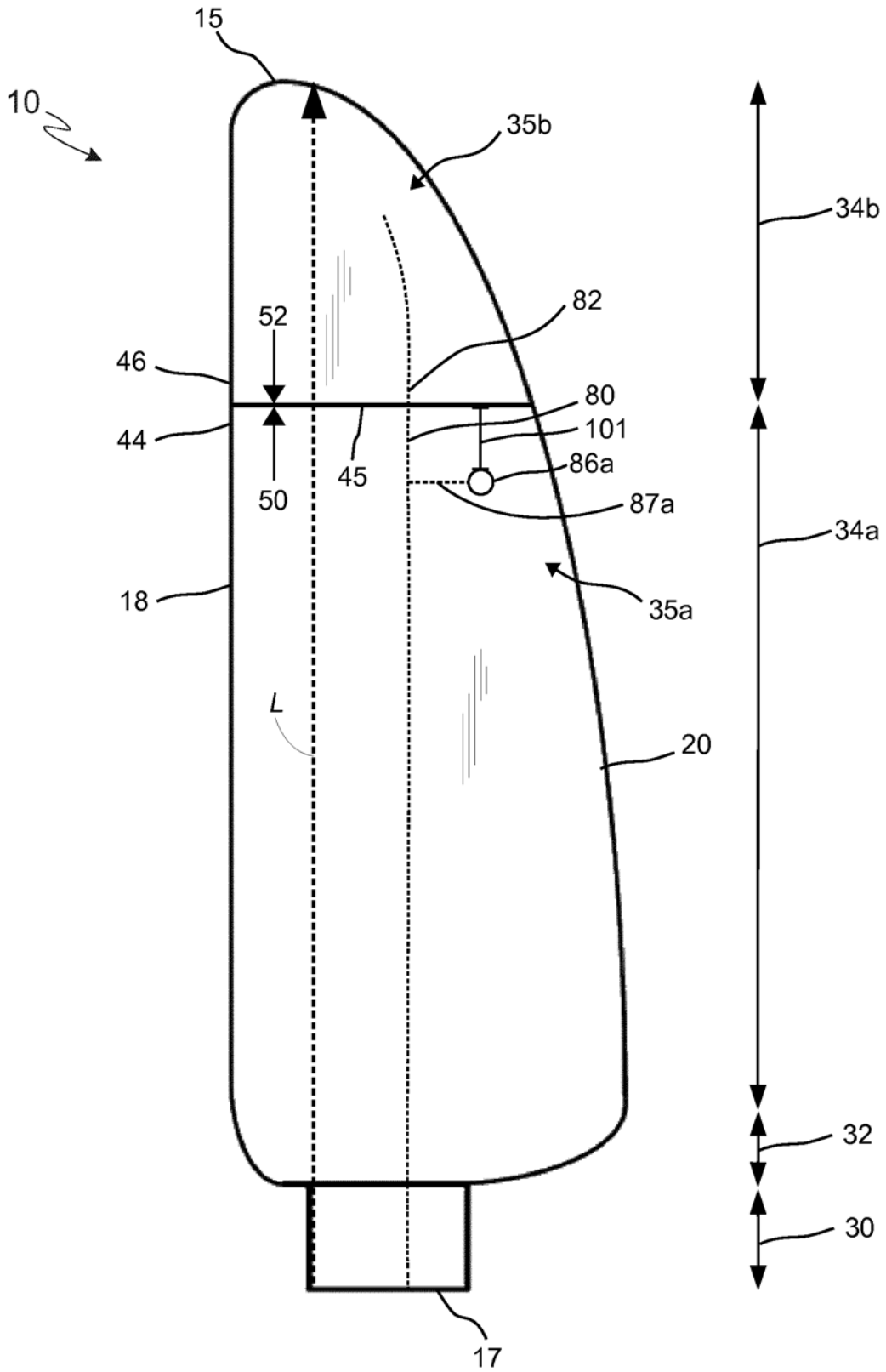


图 4

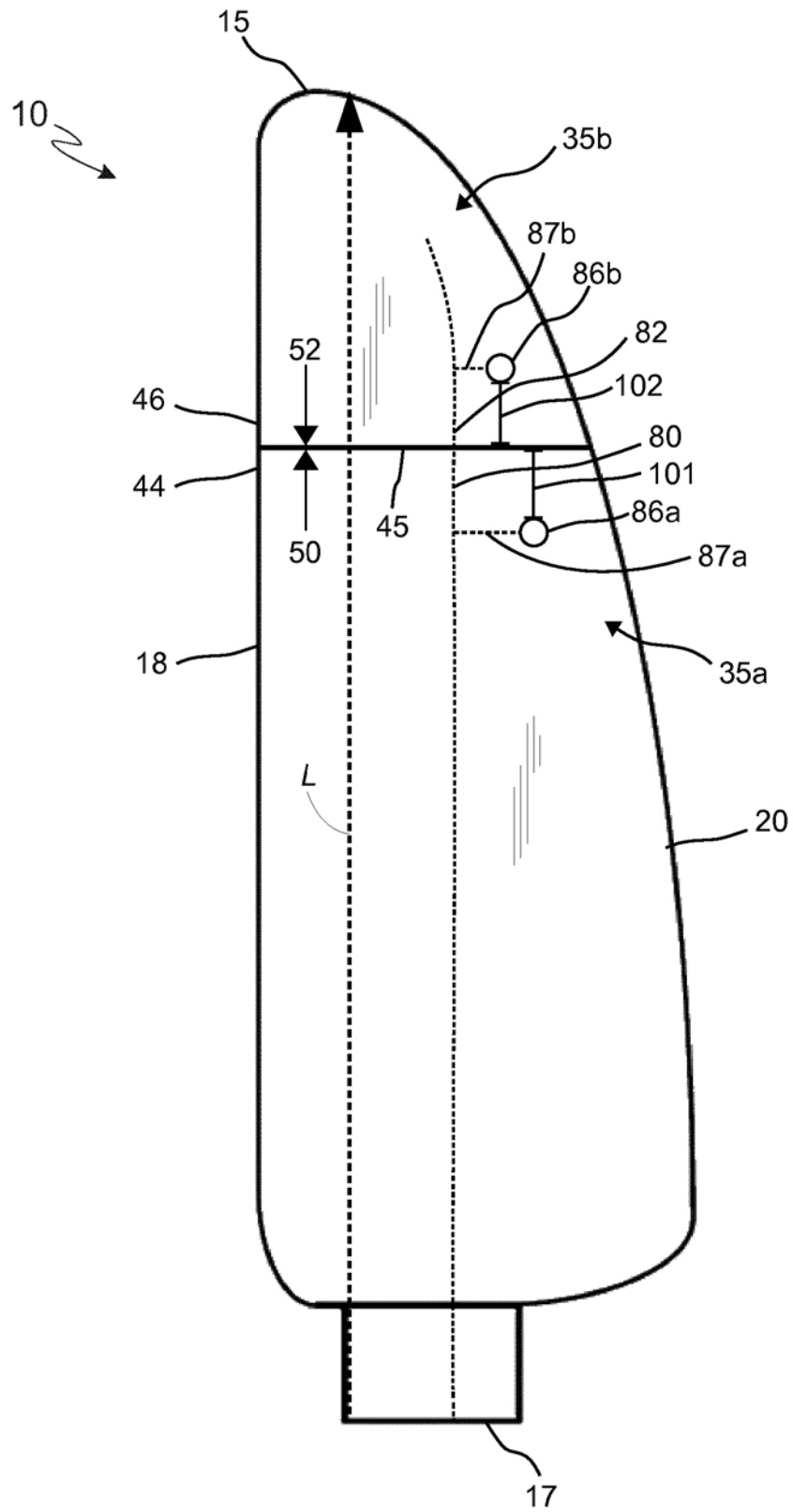


图 5

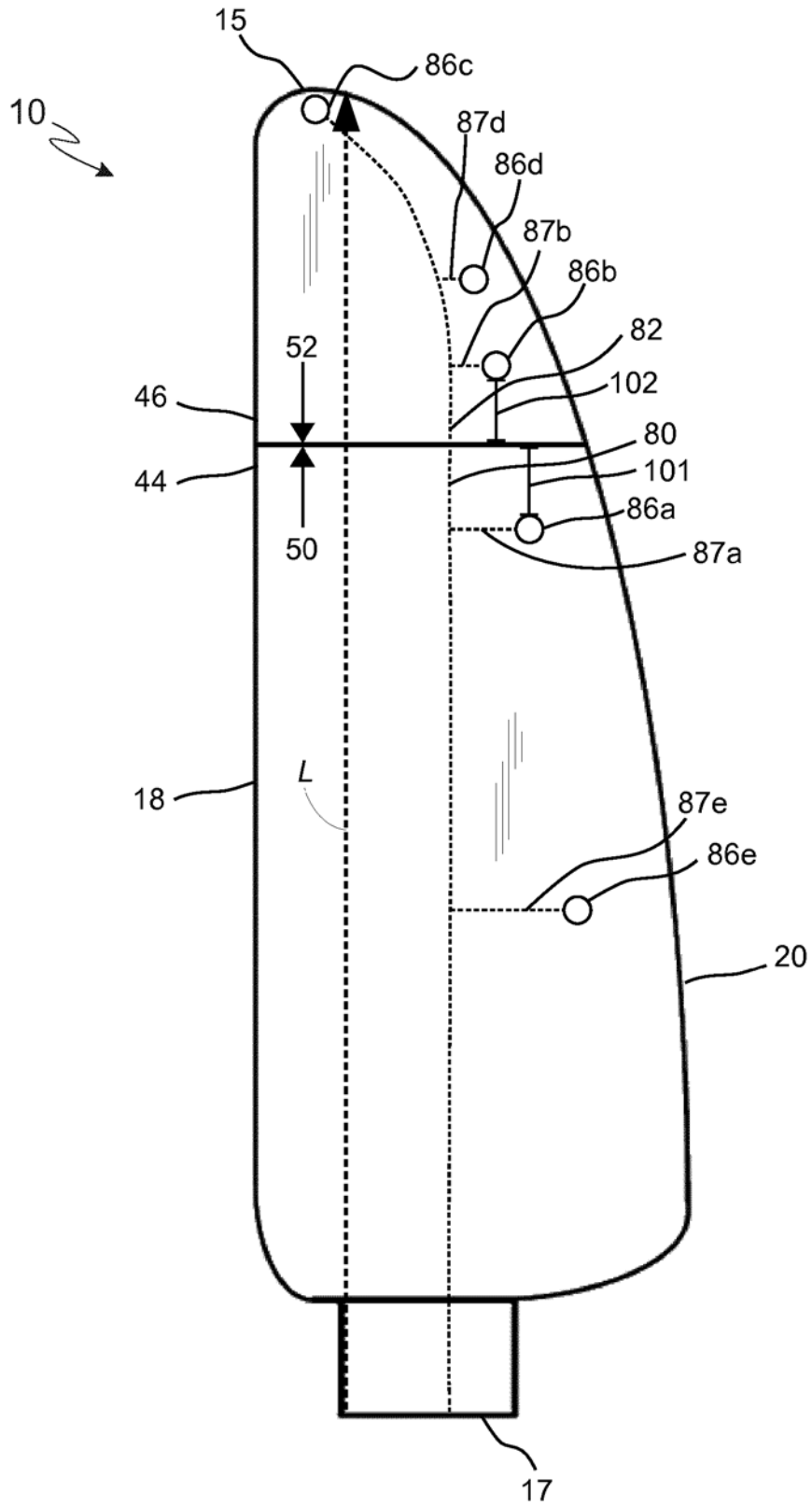


图 6

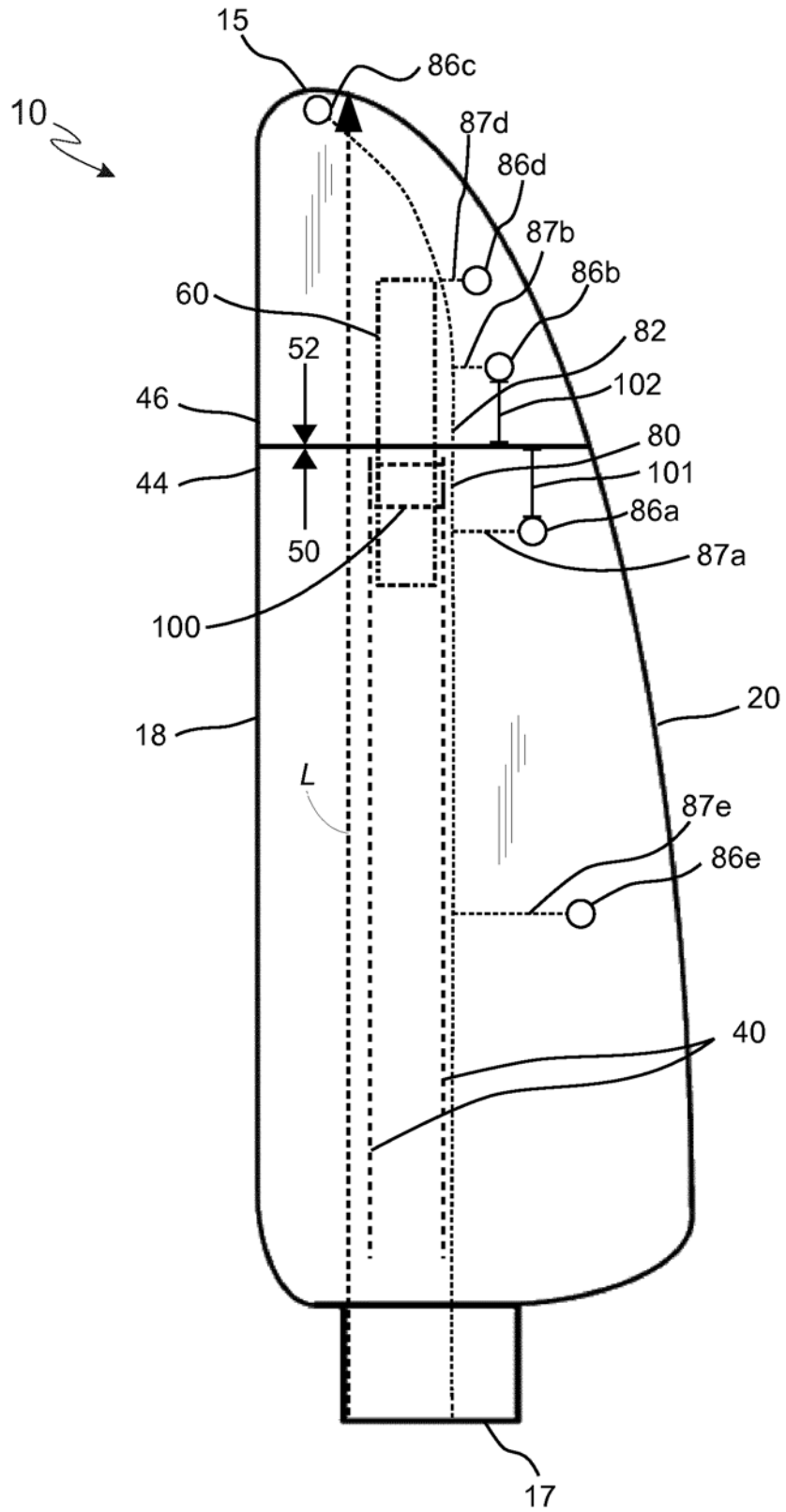


图 7

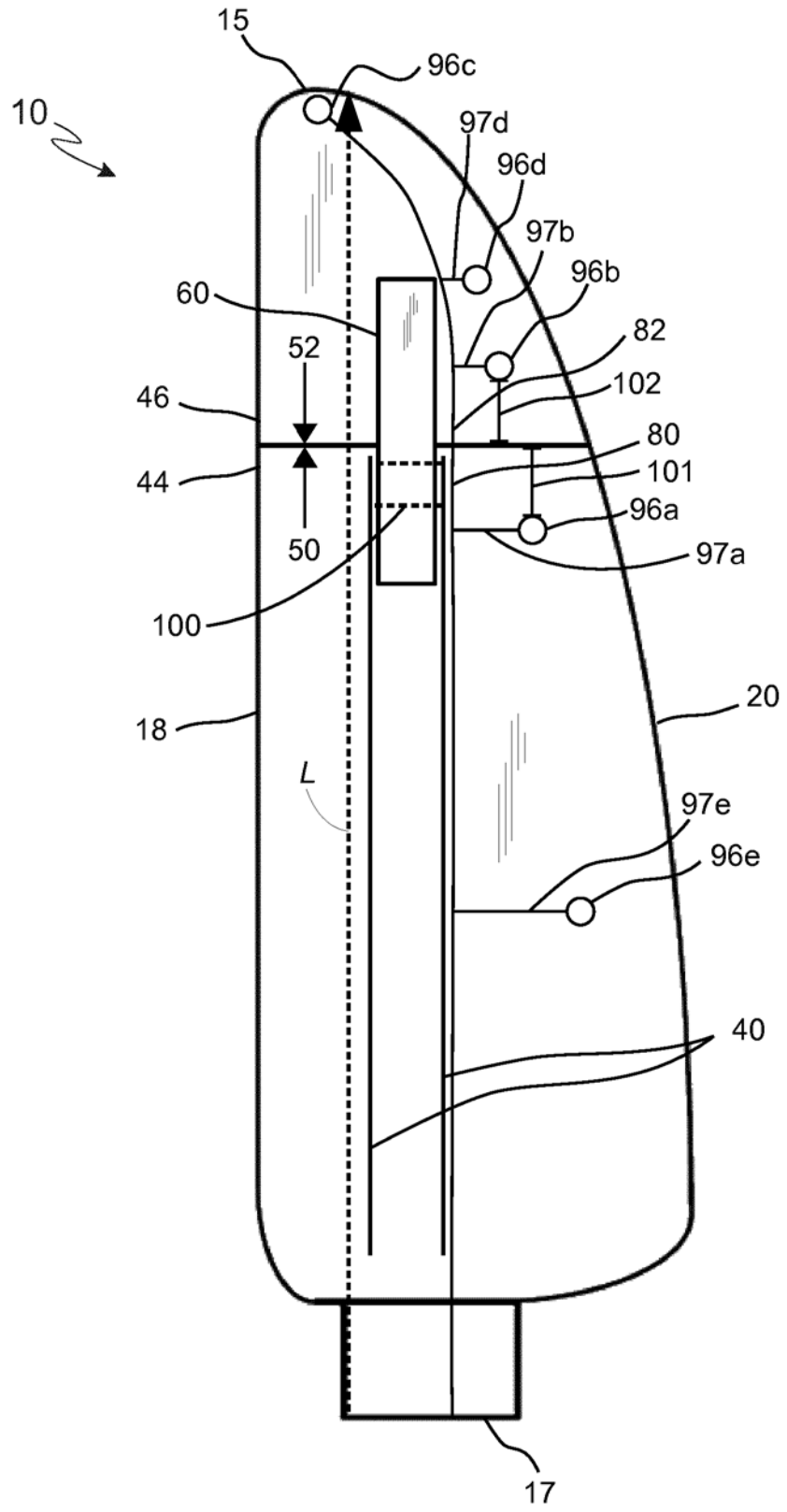


图 8

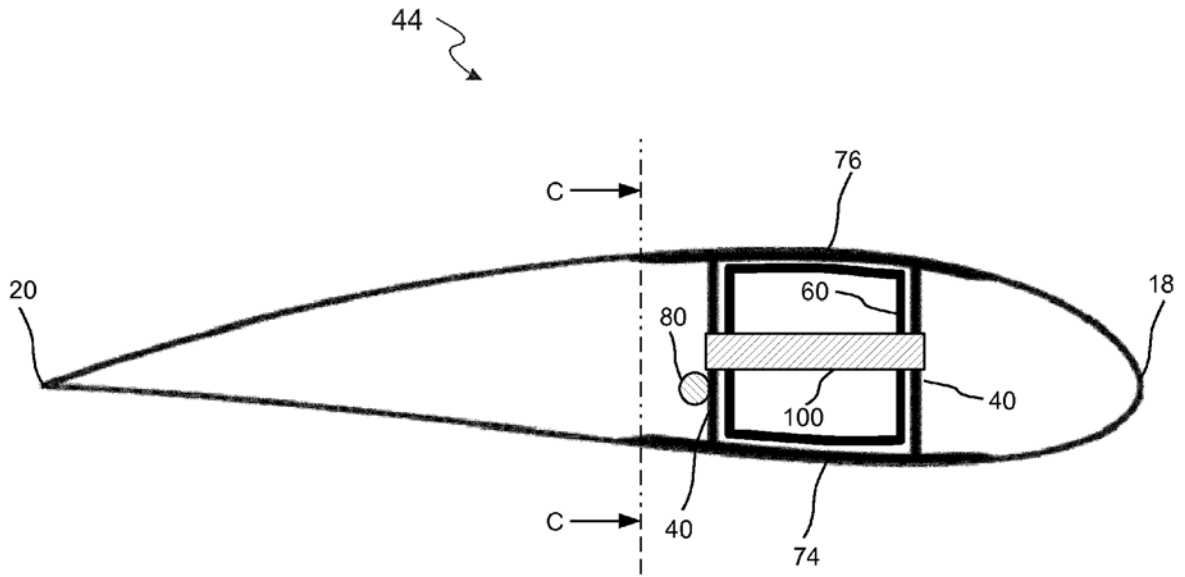
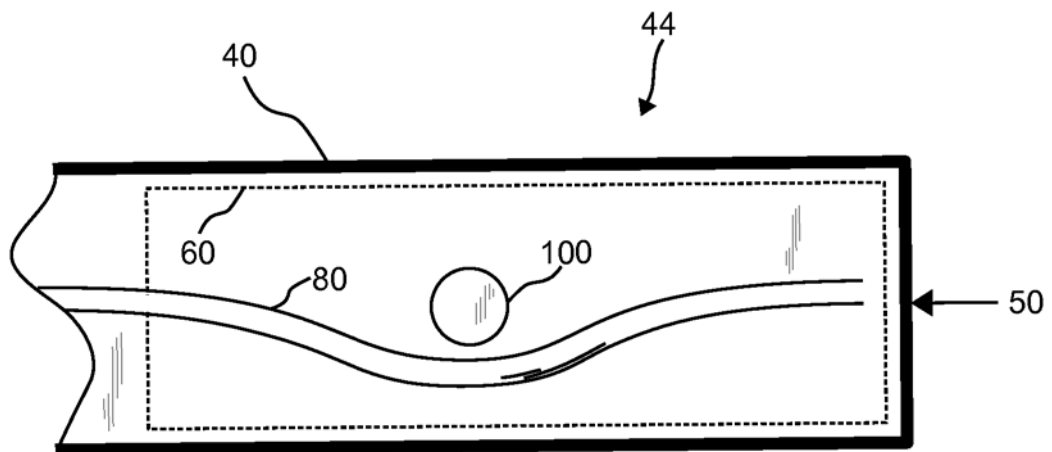


图 9A



截面 C-C

图 9B

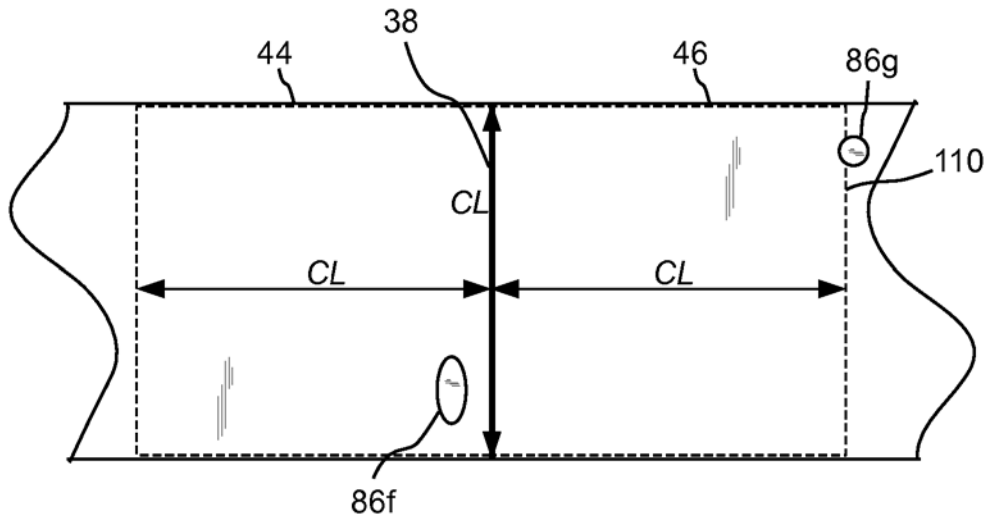


图 10

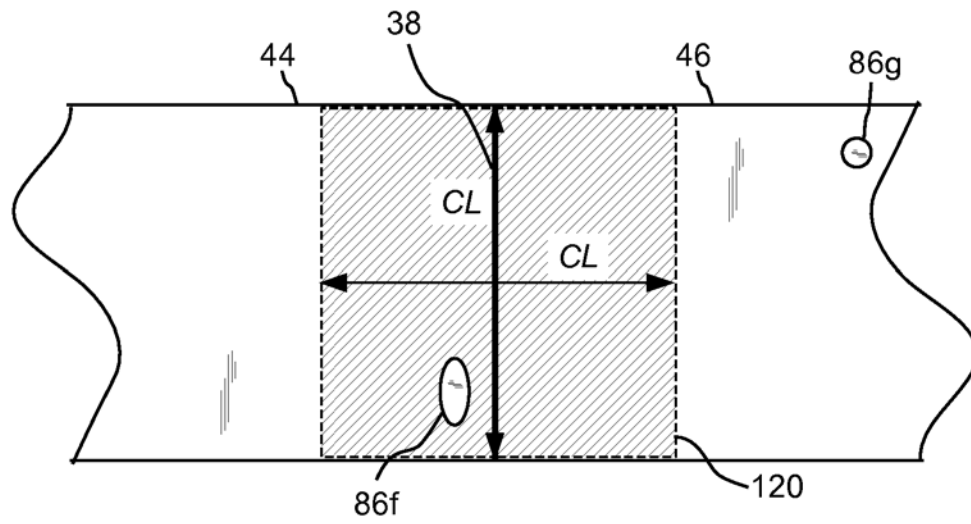


图 11