



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111963393 A

(43)申请公布日 2020.11.20

(21)申请号 201910418944.3

(22)申请日 2019.05.20

(71)申请人 江苏金风科技有限公司

地址 224100 江苏省盐城市大丰市经济开发
区金海路99号

(72)发明人 肖智龙 杨建军 史超锋

(74)专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司 11286

代理人 武慧南 刘奕晴

(51)Int.Cl.

F03D 80/60(2016.01)

F03D 80/40(2016.01)

F03D 1/06(2006.01)

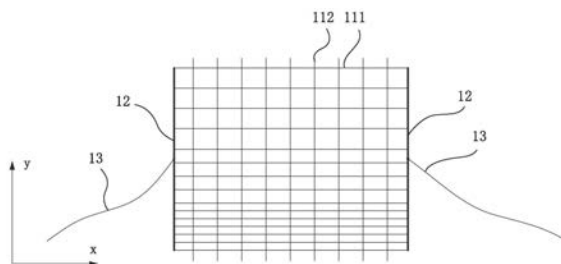
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

叶片电热装置、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法

(57)摘要

本发明提供一种叶片电热装置、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法。叶片电热装置包括电热单元,电热单元包括电极元件和多个导电条,多个导电条并联连接在电极元件之间,以通过电极元件对多个导电条通电,其中,多个导电条之间的疏密程度不均匀分布。



1. 一种叶片电热装置,其特征在于,所述叶片电热装置包括电热单元(10),所述电热单元(10)包括电极元件(12)和多个导电条(11),所述多个导电条(11)并联连接在所述电极元件(12)之间,以通过所述电极元件(12)对所述多个导电条(11)通电,其中,所述多个导电条(11)之间的疏密程度不均匀分布。

2. 根据权利要求1所述的叶片电热装置,其特征在于,所述导电条(11)包括沿第一方向布置的第一导电条(111)和沿与第一方向不同的第二方向布置的第二导电条(112),所述第一导电条(111)与所述第二导电条(112)彼此编织成网格结构,

其中,所述第一导电条(111)在所述第二方向上由疏到密地布置,和/或,所述第二导电条(112)在所述第一方向上由疏到密地布置。

3. 根据权利要求2所述的叶片电热装置,其特征在于,所述第一导电条(111)和所述第二导电条(112)为碳纤维束,所述电热单元(10)还包括绝缘纤维(113),所述第一导电条(111)和所述第二导电条(112)与所述绝缘纤维(113)混编成一个片体。

4. 根据权利要求2或3所述的叶片电热装置,其特征在于,所述叶片电热装置包括多个电热单元(10),所述多个电热单元(10)中的至少一个电热单元(10)在额定电压下与其他电热单元(10)具有不同的功率密度。

5. 根据权利要求4所述的叶片电热装置,其特征在于,所述至少一个电热单元(10)的第一导电条(111)的长度与所述其他电热单元(10)的第一导电条(111)的长度不同,和/或,所述至少一个电热单元(10)的分布在所述第二方向上的第一导电条(111)的股数与所述其他电热单元(10)的分布在所述第二方向上的第一导电条(111)的股数不同。

6. 根据权利要求4所述的叶片电热装置,其特征在于,所述多个电热单元(10)中的至少一部分电热单元(10)相互串联成串联电热单元组,多个串联电热单元组之间或串联电热单元组与另一部分电热单元(10)之间并联连接,或者,所述多个电热单元(10)中的至少一部分电热单元(10)相互并联成并联电热单元组,多个并联电热单元组之间或并联电热单元组与另一部分电热单元(10)之间串联连接。

7. 一种风力发电机组的叶片,其特征在于,所述叶片包括根据权利要求1-6中任一项所述的叶片电热装置。

8. 根据权利要求7所述的叶片,其特征在于,多个电热单元沿着所述叶片的轴向方向布置,在额定电压下,在从所述叶片的叶根至叶尖的方向上,所述叶片电热装置的功率密度增大。

9. 根据权利要求7所述的叶片,其特征在于,在所述叶片的叶根至叶尖的方向上,所述叶片电热装置的在所述叶片的弦向上的长度减小。

10. 根据权利要求7-9中任一项所述的叶片,其特征在于,在额定电压下,从所述叶片的前缘至主梁区域,所述叶片电热装置的功率密度减小,从所述主梁区域至所述叶片的后缘,所述叶片电热装置的功率密度增大。

11. 一种风力发电机组,其特征在于,所述风力发电机组包括根据权利要求7-10中任一项所述的叶片。

12. 一种风力发电机组的叶片融冰方法,其特征在于,所述叶片融冰方法包括在所述叶片上铺设根据权利要求1-6中任一项所述的叶片电热装置。

13. 根据权利要求12所述的叶片融冰方法,其特征在于,在所述叶片上铺设所述叶片电

热装置的步骤包括：在从所述叶片的叶根至叶尖的方向上，依次铺设在额定电压下功率密度由小到大的所述电热单元。

14. 根据权利要求13所述的叶片融冰方法，其特征在于，在所述叶片上铺设所述叶片电热装置的步骤还包括：从所述叶片的前缘至主梁区域，铺设在额定电压下功率密度由大到小变化的所述电热单元；从所述主梁区域至所述叶片的后缘，铺设在额定电压下功率密度由小到大变化的所述电热单元。

15. 一种用于如权利要求1-6中任一项所述的叶片电热装置的布局方法，其特征在于，所述布局方法包括：

a) 确定定值参数和变值参数，所述定值参数包括叶片的待布置所述叶片电热装置的区域尺寸参数以及所述导电条的单位电阻值，所述变值参数包括所述叶片电热装置中包括的电热单元的数量、电热单元的在所述叶片轴向上的长度、电热单元的在所述叶片弦向上的长度、所述导电条的股数以及电热单元之间的连接方式；

b) 根据额定电压基于所述定值参数和所述变值参数计算所述叶片电热装置中的每个电热单元(10)的电功率；

c) 根据计算的每个电热单元(10)的电功率，计算每个电热单元(10)的功率密度以及所述叶片电热装置的总功率；

d) 判断所述功率密度和所述总功率是否在预定范围内，若所述功率密度和所述总功率在预定范围内，则输出所述定值参数和所述变值参数；若所述功率密度和所述总功率不在预定范围内，则重新设定所述变值参数并重复步骤a)至步骤d)。

16. 根据权利要求15所述的布局方法，其特征在于，步骤b)包括：

根据所述额定电压基于所述电热单元的数量、每个电热单元的在所述叶片轴向上的长度、所述导电条的股数、所述导电条的单位电阻值以及电热单元之间的连接方式计算每个电热单元(10)的电功率。

叶片电热装置、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法。

背景技术

[0002] 在风力发电机组中,叶片是用于捕获风能的核心部件,叶片的空气动力学特性对整个风力发电机组的发电效率有着至关重要的影响。

[0003] 然而,一些风力发电机组的应用环境相对恶劣,例如,在气候寒冷的地区或湿气较大的地区,风力发电机会面临在摄氏零度以下的低温条件下运行的情况,在遇到潮湿空气、雨水、盐雾和冰雪时,特别是遇到过冷却水滴时,叶片会发生结冰现象,这会对风力发电机组的正常运行造成严重的危害。

[0004] 一般来说,叶片覆冰后会产生较大的冰载,大大降低叶片使用寿命。同时,由于加载在每个叶片上的冰载荷不尽相同,使得风力发电机组的平衡载荷增大,若风力发电机组继续运行,则对其将产生极大的损害;若停机维护,则机组利用率会大大降低。

[0005] 此外,叶片表面覆冰会使叶片的各个位置的翼型出现不同程度的变化,从而影响翼型的升阻力系数,这将极大地影响风力发电机组的出力,降低发电效率。

[0006] 另一方面,如果环境温度升高,叶片表面的冰块可能会脱落,伴随着极高的叶尖转速,会对临近的机组设备和人员构成安全威胁。

[0007] 此外,在叶片表面发生结冰后,叶片的固有频率发生变化,从而导致叶片的动态响应行为发生改变,会给风力发电机组的控制系统的控制行为造成干扰,并且会导致检测信号系统发生故障,从而反馈错误信号。

[0008] 现有的针对风力发电机组叶片的防冰/除冰技术主要是围绕电加热除冰、热气除冰和特殊涂层方法来研究。与电加热方式相比,热气除冰和特殊涂层防护技术的应用效果不佳。对于电加热技术而言,一般是通过在叶片表面或者内层布置加热层,如此,在叶片将要发生结冰时,启动加热系统提升叶片表面温度,从而防止其表面结冰,或者在叶片表面已结冰后,启动加热系统使得表面的冰层融化以实现除冰的目的。

[0009] 然而,现有的电加热除冰装置存在能量消耗大、除冰效果不佳的问题。

发明内容

[0010] 为了优化叶片表面防冰/除冰效果,本发明提供一种叶片电热装置、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法。

[0011] 本发明的一方面提供一种叶片电热装置,叶片电热装置包括电热单元,电热单元包括电极元件和多个导电条,多个导电条并联连接在电极元件之间,以通过电极元件对多个导电条通电,其中,多个导电条之间的疏密程度不均匀分布。

[0012] 优选地,导电条可包括沿第一方向布置的第一导电条和沿与第一方向不同的第二方向布置的第二导电条,第一导电条与第二导电条可彼此编织成网格结构,其中,第一导电条可在第二方向上由疏到密地布置,和/或,第二导电条在第一方向上由疏到密地布置。

[0013] 优选地,第一导电条和第二导电条可为碳纤维束,电热单元还可包括绝缘纤维,第一导电条和第二导电条可与绝缘纤维混编成一个片体。

[0014] 优选地,叶片电热装置可包括多个电热单元,多个电热单元中的至少一个电热单元在额定电压下与其他电热单元具有不同的功率密度。

[0015] 优选地,至少一个电热单元的第一导电条的长度可与其他电热单元的第一导电条的长度不同,和/或,至少一个电热单元的分布在第二方向上的第一导电条的股数可与其他电热单元的分布在第二方向上的第一导电条的股数不同。

[0016] 优选地,多个电热单元中的至少一部分电热单元可相互串联成串联电热单元组,多个串联电热单元组之间或串联电热单元组与另一部分电热单元之间可并联连接,或者,多个电热单元中的至少一部分电热单元相互可并联成并联电热单元组,多个并联电热单元组之间或并联电热单元组与另一部分电热单元之间可串联连接。

[0017] 本发明的另一方面提供一种风力发电机组的叶片,叶片包括如上所述的叶片电热装置。

[0018] 优选地,多个电热单元沿着叶片的轴向方向布置,在额定电压下,在从叶片的叶根至叶尖的方向上,叶片电热装置的功率密度可增大。

[0019] 优选地,在叶片的叶根至叶尖的方向上,叶片电热装置的在叶片的弦向上的长度减小。

[0020] 优选地,在额定电压下,从叶片的前缘至主梁区域,叶片电热装置的功率密度可减小,从主梁区域至叶片的后缘,叶片电热装置的功率密度可增大。

[0021] 本发明的另一方面提供一种风力发电机组,风力发电机组包括如上所述的叶片。

[0022] 优选地,叶片融冰方法可包括在叶片上铺设如上所述的叶片电热装置。

[0023] 优选地,在叶片上铺设叶片电热装置的步骤可包括:在从叶片的叶根至叶尖的方向上,依次铺设在额定电压下功率密度由小到大的电热单元。

[0024] 优选地,在叶片上铺设叶片电热装置的步骤还可包括:从叶片的前缘至主梁区域,铺设在额定电压下功率密度由大到小变化的电热单元;从主梁区域至叶片的后缘,铺设在额定电压下功率密度由小到大变化的电热单元。

[0025] 本发明的另一方面提供一种用于如上所述的叶片电热装置的布局方法,布局方法包括:a)确定定值参数和变值参数,所述定值参数包括叶片的待布置所述叶片电热装置的区域尺寸参数以及所述导电条的单位电阻值,所述变值参数包括所述叶片电热装置中包括的电热单元的数量、电热单元的在所述叶片轴向上的长度、电热单元的在所述叶片弦向上的长度、所述导电条的股数以及电热单元之间的连接方式;b)根据额定电压基于所述定值参数和所述变值参数计算所述叶片电热装置中的每个电热单元(10)的电功率;c)根据计算的每个电热单元(10)的电功率,计算每个电热单元(10)的功率密度以及所述叶片电热装置的总功率;d)判断所述功率密度和所述总功率是否在预定范围内,若所述功率密度和所述总功率在预定范围内,则输出所述定值参数和所述变值参数;若所述功率密度和所述总功率不在预定范围内,则重新设定所述变值参数并重复步骤a)至步骤d)。

[0026] 优选地,步骤b)可包括:根据所述额定电压基于所述电热单元的数量、每个电热单元的在所述叶片轴向上的长度、所述导电条的股数、所述导电条的单位电阻值以及电热单元之间的连接方式计算每个电热单元(10)的电功率。

[0027] 根据本发明的叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法可实现对叶片的结冰强度不同的表面区域进行定制化分区加热,使得叶片加热除冰系统布局更合理,能耗更小,经济性更高。

[0028] 此外,根据本发明的叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法可对叶片电热装置的布局进行计算,以针对各个区域合理分配加热功率。

[0029] 此外,根据本发明的叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法可在总功率一定的情况下寻找到加热系统功率分配与融冰/除冰效果的最佳路径。

附图说明

[0030] 图1是根据本发明的实施例的叶片电热装置的布局示意图。

[0031] 图2是叶片电热装置的电热单元的导电条均匀分布的示意图。

[0032] 图3是根据本发明的实施例的叶片电热装置的电热单元的导电条不均匀分布的示意图。

[0033] 图4是根据本发明的实施例的叶片电热装置的电热单元的轴向长度的布局示意图。

[0034] 图5是根据本发明的实施例的叶片电热装置的包括绝缘纤维的电热单元的示意图。

[0035] 图6是根据本发明的实施例的叶片电热装置的多个电热单元的电连接结构的示意图。

[0036] 图7是根据本发明的实施例的叶片电热装置的布局方法的计算流程图。

[0037] 附图标号说明:

[0038] 10:电热单元;11:导电条;111:第一导电条;112:第二导电条;113:绝缘纤维;12:电极元件;13:导线。

具体实施方式

[0039] 现在将参照附图更全面地描述本发明的实施例,在附图中示出了本发明的示例性实施例。

[0040] 下面将参照图1描述根据本发明的实施例的叶片电热装置的布局。

[0041] 风力发电机组的叶片在叶片弦向上包括位于叶片翼型中弧线的最前端的前缘以及与前缘相对的后缘。

[0042] 根据叶片表面结冰数值理论计算、实验测试和叶片结冰现场观测可知,在叶片弦向上,以叶片的主梁区域为分界线,从前缘至主梁区域,叶片表面结冰强度递减;从主梁区域至后缘,叶片表面结冰强度递增,并且,叶片的前缘区域的结冰强度整体上大于其后缘区域的结冰强度。

[0043] 在叶片轴向上,叶尖区域的结冰强度相对较大,而从叶尖至叶根的方向上,结冰强度逐渐减小。此外,考虑到叶根区域的翼型升阻力系数对叶片气动性能影响较小,因此,叶根区域的少量结冰可以忽略不计,可不进行防冰/除冰处理。

[0044] 此外,虽然叶尖区域的结冰强度最大,但是由于叶尖区域遭受雷击的风险较大(一般来说,遭受雷击的概率在90%以上),因此出于对风力发电机组的安全考虑,在铺设叶片

电热装置时,应避开高雷击风险区(例如,自叶尖起3米至5米的叶片段)。然而,这并不代表叶尖段不能设置叶片电热装置,在叶片避雷技术满足要求的情况下,在叶尖段布置叶片电热装置也是可行的。

[0045] 由此可见,根据本发明的叶片电热装置可主要布置在叶片的前缘区域和后缘区域,主梁区域可适当减少加热量,并且在叶片的轴向上,叶根段和叶尖段在某些情况下可不设置加热单元。因此,需要针对不同区域的加热功率应不同,以对结冰严重区域提供足够的加热量,同时对结冰较轻的区域适度加热量,避免局部温度过高。

[0046] 参照图1,根据本发明的叶片电热装置可布置在叶片的表面上,例如,布置在叶片的前缘区域和后缘区域(图1中省略示出后缘区域的叶片电热装置),以对叶片表面施加热。叶片电热装置可包括电热单元10,一个或多个电热单元10分别包括多个导电条11和电极元件12,多个导电条11并联连接在电极元件12之间,以通过电极元件12对多个导电条11通电,从而通过导电条11的电阻热效应产生热。

[0047] 以图2为例,导电条11可具有网格编织结构。具体来说,导电条11可包括沿第一方向x(例如,叶片的轴向)布置的第一导电条111和沿与第一方向不同的第二方向y(例如,叶片的弦向)布置的第二导电条112,第一导电条111与第二导电条112彼此交织,形成网格结构。

[0048] 多个第一导电条111可并联连接在两个电极元件12之间,通过电极元件12对导电条通电。电极元件12可以为金属条电极,但不限于此。此外,第二导电条112连接在多个第一导电条111之间,起到搭接多个第一导电条111的作用。

[0049] 在图2所示的电热单元中,第一导电条111与第二导电条112均匀分布,形成均一布局的编织结构,然而,如上面所述,叶片的各个区域的结冰强度不同,需要针对不同区域提供不同的加热功率。

[0050] 因此,根据本发明的叶片电热装置的多个导电条11之间的疏密程度可以不均匀地分布。

[0051] 以上面所述的网格编织结构为例,如图3所示,第一导电条111在第二方向y上由疏到密地布置(显然,根据铺设时的方向不同,第一导电条111在第二方向y上也可以由密到疏布置),即,相邻的第一导电条111之间的间距可沿着第二方向y由大到小(或由小到大)改变,因此,在将叶片电热装置铺设在叶片上时,可使第二方向y沿着叶片的弦向,从而使得相邻的第一导电条111之间的间距从主梁至前缘或后缘的方向递减,即,第一导电条111在前缘区域或后缘区域中布置得比在主梁区域中密集。根据需要,在需要很高的加热量的区域中,相邻的第一导电条111之间的间距甚至可以为零,即,彼此紧挨着布置。

[0052] 因此,对于叶片的弦向而言,可通过调节第一导电条111布置的疏密程度来实现根据叶片结冰情况的有针对性的分区加热。

[0053] 而对于叶片的轴向而言,类似地,由于在叶片的轴向上,越靠近叶尖,叶片的结冰强度越大,因此,第二导电条112可在第一方向x上由疏到密地布置,即,在将叶片电热装置铺设在叶片上时,可使第一方向x沿着叶片的轴向,使得在靠近叶尖的区域中的第二导电条112布置得最密集。

[0054] 然而,由于与叶片的轴向长度相比,叶片的弦向宽度较短,因此,电热装置10在整体上弦向幅宽较窄而轴向长度较长,即,第二导电条112的长度可远小于第一导电条111的

长度。这就使得整个发热片11的热量主要来自第一导电条111,而第二导电条112的发热量较小,在一些情况下,甚至可以忽略不计。

[0055] 因此,进一步优选地,根据本发明的叶片电热装置可包括沿叶片的轴向布置的多个电热单元,多个电热单元可具有不同第一导电条111布局,从而在额定电压下具有不同的功率密度,以更好地实现叶片轴向分区加热的效果。

[0056] 具体来说,多个电热单元10可沿着叶片的轴向布置,并可通过导线13彼此连接。导线13可沿着叶片后缘延伸至叶根,接入到叶根加热控制柜,以通过外部电源对电热单元10通电。多个电热单元中的至少一个在额定电压下与其他电热单元具有不同的功率密度,例如,多个电热单元10可按照这样的方式布置:在从叶片的叶根至叶尖的方向上,依次铺设在额定电压下功率密度由小到大的电热单元。这可通过调节电热单元10中的第一导电条111的相关参数来实现。

[0057] 具体来说,在忽略弦向导电条的电阻的情况下,可通过下式来计算多个电热单元中第n个电热单元的功率密度 ρ_n :

$$[0058] \quad \rho_n = P_n / S = P_n / (L \times W) = (N \times U_n^2) / (R_0 \times L^2 \times W),$$

[0059] 其中, P_n 为第n个电热单元的电功率, S 为第n个电热单元的面积; N 代表电热单元轴向导电条的股数(即,电热单元轴向导电条的数量); U_n 为施加到第n个电热单元的电压; R_0 代表导电条的单位电阻值,在采用碳纤维束的情况下, R_0 由碳纤维束K值确定,K值指碳纤维束中的单丝数量; L 代表第n个电热单元的幅长(导电条的长度); W 代表第n个电热单元的幅宽。

[0060] 根据上式,当多个电热单元的 U_n 为额定电压时(即,假设施加到每个电热单元的电压均为 U_n),各电热单元的功率密度大小与轴向导电条的股数 N 成正比,与电热单元的幅长 L 和电热单元的幅宽 W 成反比。

[0061] 由此可知,第一导电条111的长度越短,所在电热单元10在额定电压下的加热功率密度越高,因此,如图4所示,在叶根至叶尖的方向上,多个电热单元10的长度可递减,以使加热功率增大,从而实现叶片轴向上的分区加热。

[0062] 此外,还可通过调节第一导电条111的股数来实现。具体来说,在叶根至叶尖的方向上,电热单元10的第一导电条111的股数可递增以使加热功率密度增大,即,在具有相同幅宽的多个电热单元10中,靠近叶尖侧的电热单元10的第一导电条111的数量大于靠近叶根侧的电热单元10的第一导电条111的数量。在这种情况下,为了调节叶片弦向上的加热分布,每个电热单元10的多个第一导电条111整体上可仍然如上面参照图3所描述的那样根据不同位置而布置为疏密程度不同。

[0063] 此外,优选地,如图5所示,根据本发明的电热单元还可包括绝缘纤维113,第一导电条111和第二导电条112可与绝缘纤维113混编成一个片体。绝缘纤维113可作为骨架结构维持电热单元的形状或支撑导电条。作为示例,第一导电条111和第二导电条112可以为碳纤维束,绝缘纤维113可以是玻璃纤维束或玻璃纤维布,从而形成碳玻混编的电热单元。例如,电热单元可以是碳玻混编织物加热膜或者碳玻混编预浸料加热膜。

[0064] 此外,尽管上面以第一方向为叶片轴向且第二方向为叶片弦向为例进行了描述,但是第一方向和第二方向不限于此,二者也可以为其他方向,并且可不彼此垂直设置,例如,第一方向和第二方向之间成30度或45度角。

[0065] 尽管上面以图2和图3的网格编织结构为例描述了导电条11的构造,但是其不限于

此,导电条11也可形成诸如菱形编织、人字形编织等的其他形式的编织结构,或者,导电条11也可为非编织结构,例如,可省略图2和图3中的第二导电条112,仅设置第一导电条111。

[0066] 根据本发明的叶片电热装置,可在叶片的弦向和轴向上进行分区加热,使得在额定电压条件下,结冰强度大的区域加热量(功率密度)大,而结冰强度较小的区域加热量(功率密度)相应偏小。

[0067] 此外,在上述叶片电热装置中,为了定性分析第一导电条111的参数与电热单元10的功率密度之间的关系,假定了施加到每个电热单元的电压均为 U_n (多个电热单元并联连接)的情况,这样虽然是可行的,但是在多个电热单元之间全部并联连接的情况下,各电热单元的电功率会增大,这会导致叶片电热装置总功率较大,增加风力发电机组的负荷。此外,多个电热单元全部并联连接会增加导线的布线难度,并且由于布线较多且复杂,因此还可能增大感应雷的雷击风险。因此,为了降低总功率、简化布线、降低雷击风险,本发明的叶片电热装置的多个电热单元优选地可以采用串联和并联混连的方式。

[0068] 具体来说,以图6所示的先串联后并联的连接方式为例,可将多个电热单元10中的至少一部分电热单元相互串联成串联电热单元组,多个串联电热单元组之间或串联电热单元组与另一部分电热单元之间可并联连接。

[0069] 尽管未示出,也可采用先并联后串联的连接方式,即,多个电热单元中的至少一部分电热单元相互并联成并联电热单元组,多个并联电热单元组之间或并联电热单元组与另一部分电热单元之间串联连接。

[0070] 下面将参照图7描述根据本发明的叶片融冰方法以及叶片电热装置的布局方法。

[0071] 根据本发明的叶片融冰方法可包括在风力发电机组的叶片上铺设叶片电热装置,其中,在从叶片的叶根至叶尖的方向上,可依次铺设在额定电压下功率密度由小到大的电热单元10,并且从叶片的前缘至主梁区域,铺设在额定电压下功率密度由大到小变化的电热单元10;从主梁区域至叶片的后缘,铺设在额定电压下功率密度由小到大变化的电热单元10。

[0072] 在铺设电热单元10的过程中,可先对各个电热单元的加热布局进行计算,以进行有针对性的加热。

[0073] 如图7所示,可先确定需要铺设叶片电热装置的叶片类型,然后输入定值参数和变值参数。

[0074] 定值参数可包括叶片的待布置所述叶片电热装置的区域尺寸参数以及导电条的单位电阻值。

[0075] 可根据实际需要选择适当的导电条,例如,上文中提到的碳纤维束,从而可确定导电条的单位电阻值。

[0076] 变值参数可包括分区数(即,电热单元10的数量)、每个分区的幅长 L (即,每个电热单元的在叶片轴向上的长度)、每个分区的幅宽 W (即,每个电热单元的在叶片弦向上的有效加热宽度)、导电条的股数 N 以及分区连接方式。变值参数可通过后面的迭代计算而不断调整,例如,选择合适的步长进行迭代。

[0077] 可根据实际需要或使用过程中的经验值来确定叶片电热装置的分区数。

[0078] 分区连接方式可优选地为如上所述的串联和并联混连的方式。例如,可设定多个

电热单元10串联成串联电热单元组,其中,可将功率密度大致接近的电热单元10彼此串联。然后,将电热单元组彼此并联连接。可预设多种分区连接方式(例如,先串联后并联或先并联后串联以及串联/并联的分区数等),以供迭代过程中进行选择。

[0079] 然后,根据额定电压基于定值参数和变值参数计算各个分区的分区电阻、分区电流或电压,从而计算分区电功率。

[0080] 在已给定导电条的单位电阻值 R_0 、导电条的长度 L 和导电条的股数 N 的情况下,若不考虑弦向导电条的电阻/不设置弦向导电条,则第 n 个电热单元的总电阻为:

$$[0081] \quad R_n = \frac{R_0 \times L}{N},$$

[0082] 并且,以先串联后并联的分区连接方式为例,施加到第 n 个分区的电流 I_n 为:

$$[0083] \quad I_n = \frac{U_{\text{额}}}{R_g},$$

[0084] 其中, $U_{\text{额}}$ 为叶片电热装置的额定电压, R_g 为第 n 个电热单元10所在的串联电热单元组的总电阻,其可根据各个电热单元10的电阻值以及分区连接方式计算得到。

[0085] 因此,可得到第 n 个分区的电功率 $P_n = I_n^2 R_n$ 并根据各个分区的电功率得到叶片电热装置的总功率。

[0086] 接下来,根据各个分区的电功率计算分区功率密度以及叶片电热装置的总功率,然后判断分区功率密度和总功率是否在预定范围内。

[0087] 若分区功率密度和总功率在预定范围内,则各个分区的功率密度满足需要的融冰/除冰效果并且能耗较低,可输出叶片电热装置的定型参数(即,满足预定范围的定值参数和变值参数),完成叶片电热装置的布局计算。定型参数可包括整体参数和分区参数,整体参数可包括分区数、串并联关系以及总功率,分区参数可包括分区功率密度、分区功率、导电条股数、分区电阻值、分区幅长和幅宽及分区电流。

[0088] 若分区功率密度和总功率不在预定范围内,则可重新设定变值参数进行计算(例如,根据预定步长改变变值参数和/或从预设分区连接方式中重新选择分区连接方式进行计算),直至分区功率密度和总功率达到预定范围内。根据上述计算方法可根据叶片类型定制化叶片电热装置的布局,合理铺设电热单元10,以提高融冰/除冰的效率,并降低总能耗。

[0089] 由于叶片表面的不同区域的结冰强度(或者说,结冰量)有所不同,因此,如果将电加热防除冰系统中的加热单元都均一布置在叶片表面,叶片的各个区域的加热功率基本相同在均一的电加热功率下,结冰强度较大的位置加热量可能不足,而结冰强度较小或未发生结冰的区域在加热后可能会出现局部温度偏高的情况,造成能耗的浪费,导致直接叶片表面的防冰/除冰效果不佳。然而,根据本发明的叶片电热装置能够根据不同区域的结冰强度,相应设置不同的电加热功率密度,实现分区加热,从而使叶片电热装置的布局更合理,并且减小装置的总功率,降低能耗。

[0090] 根据本发明的实施例,还可提供一种风力发电机组的叶片,该风力发电机组可包括如上所述的叶片电热装置。根据本发明的叶片电热装置可在生产过程中预埋在叶片蒙皮内,也可以糊制在服役叶片的表面层上。此外,根据本发明的实施例,还可提供一种风力发电机组,该风力发电机组可包括如上所述的叶片。

[0091] 根据本发明的叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法可

实现对叶片的结冰强度不同的表面区域进行定制化分区加热,使得叶片加热除冰系统布局更合理,能耗更小,经济性更高。

[0092] 此外,根据本发明的叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法可对叶片电热装置的布局进行计算,以针对各个区域合理分配加热功率。

[0093] 此外,根据本发明的叶片电热装置及布局方法、叶片、风力发电机组及叶片融冰方法可在总功率一定的情况下寻找到加热系统功率分配与融冰/除冰效果的最佳路径。

[0094] 虽然已经参照本发明的示例性实施例具体示出和描述了本发明,但是本领域普通技术人员应该理解,在不脱离由权利要求限定的本发明的精神和范围的情况下,可以对其进行形式和细节的各种改变。

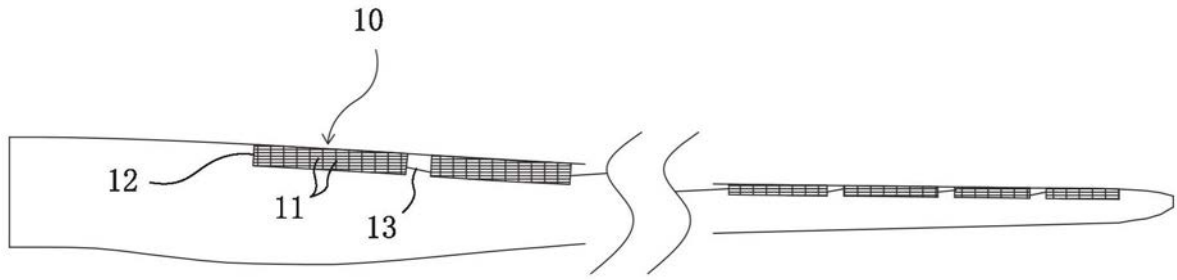


图1

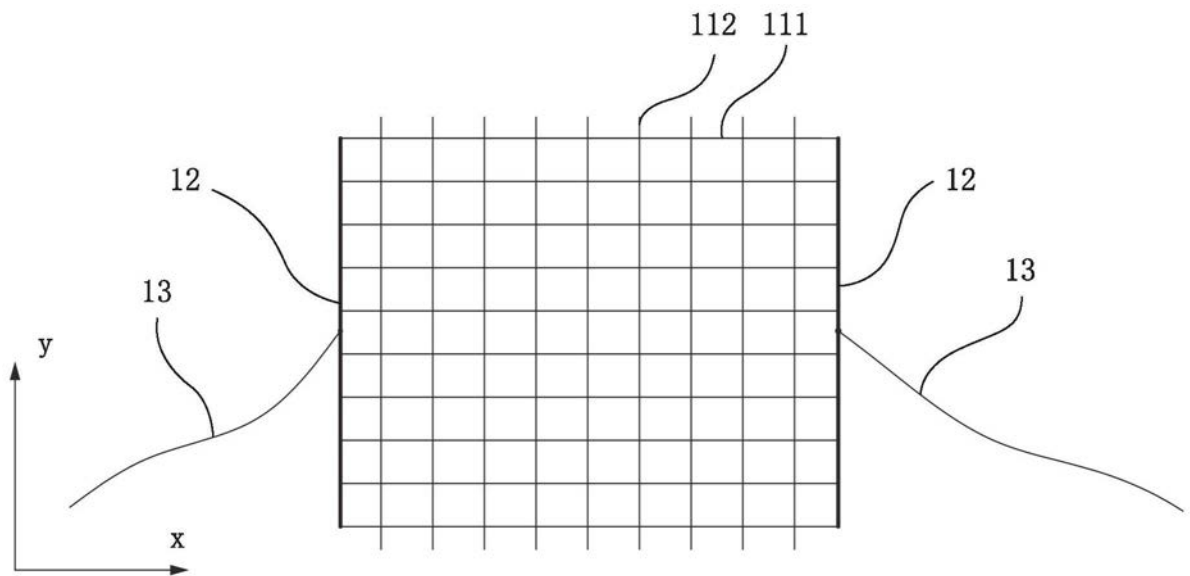


图2

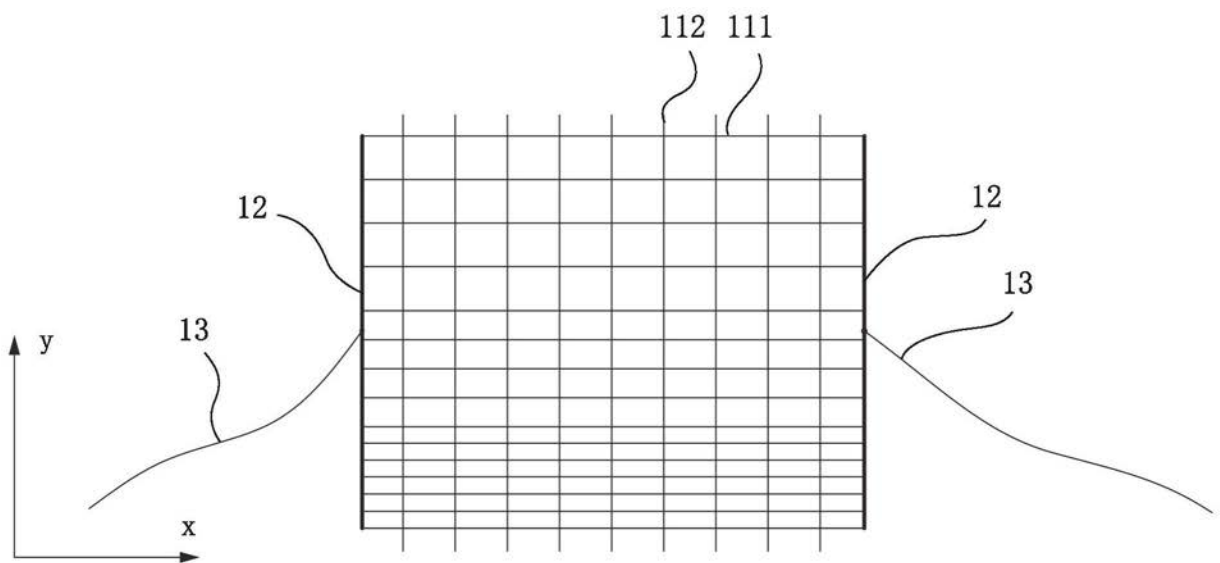


图3



图4

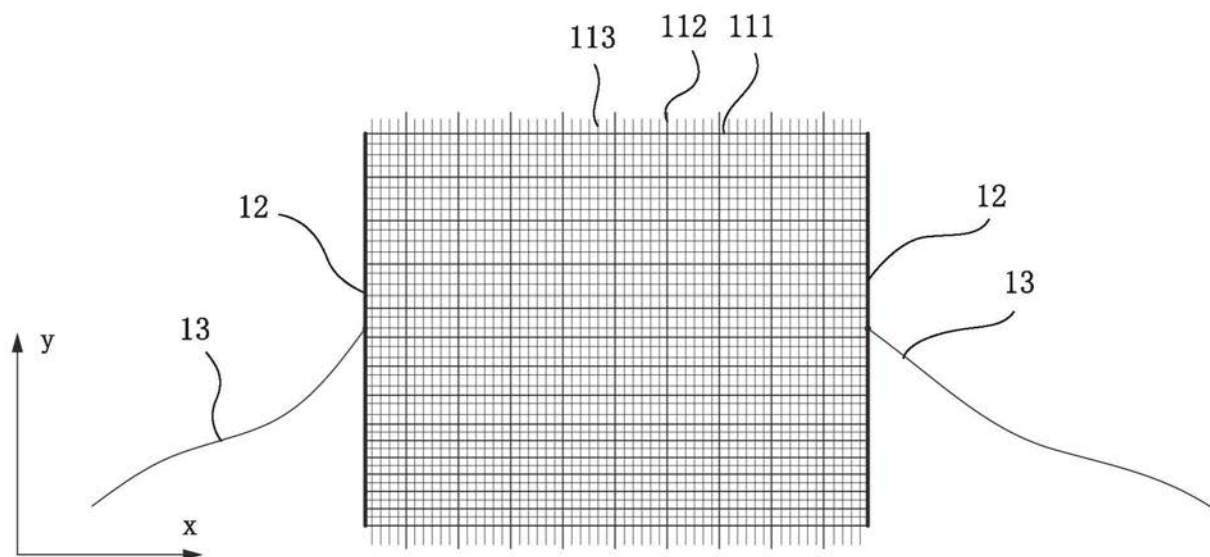


图5

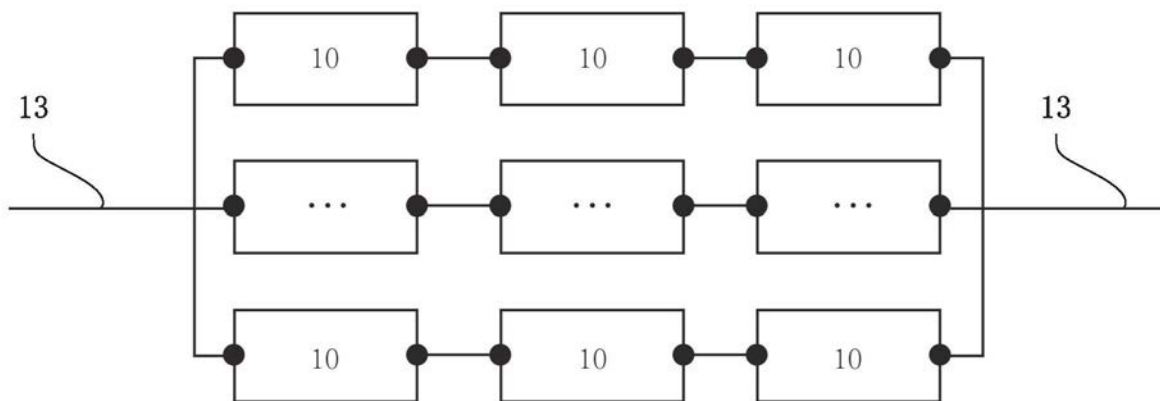


图6

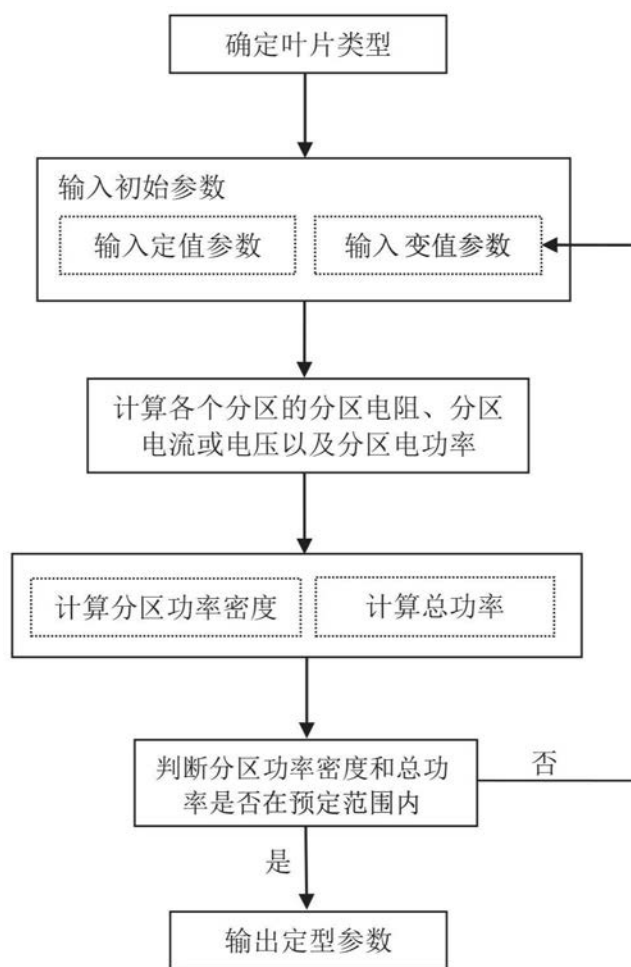


图7