



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103277265 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201310210258. X

(22) 申请日 2013. 05. 31

(71) 申请人 中材科技风电叶片股份有限公司
地址 102101 北京市延庆县八达岭经济开发
区东环路 888 号

申请人 北京新宇阳科技有限公司

(72) 发明人 陈淳 牟书香 王安生 杨帅
邱桂杰 杨永华

(74) 专利代理机构 北京诺孚尔知识产权代理有
限责任公司 11242

代理人 魏永金

(51) Int. Cl.

F03D 11/00(2006. 01)

F03D 7/00(2006. 01)

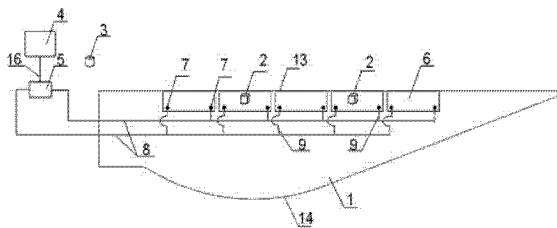
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

一种防结冰风电叶片及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种防结冰风电叶片及其制备方法,该防结冰风电叶片包括监控系统、外设电源和含有高分子电热膜的叶片;其中,高分子电热膜夹设在该风电叶片的吸力面壳体 and 压力面壳体的表面或其壳体层中,高分子电热膜通过导线受监控系统控制与外设电源连通或断开;运行时监控系统监测叶片所在环境的结冰参数,当结冰参数满足预定的结冰条件时,接通电源,高分子电热膜通电发热,将热量传递到叶片表面,防止叶片结冰。其可在不停机的情况下对风电叶片实现在线防结冰,减少其非计划停机,提高在寒冷天气中风力机的风能利用效率。其制备工艺简单、可操作性强、无需额外复杂工序和设备,可实施大型防结冰风电叶片的制备;有利于推广实施。



1. 一种防结冰风电叶片,包括监控系统、与风力发电机连接的叶片本体和电源;所述叶片本体的内腔由吸力面壳体和压力面壳体对接而成,其内腔中固接有一支撑该吸力面壳体和压力面壳体内壁的剪切腹板;其特征在于:在所述吸力面壳体和所述压力面壳体的表面或其壳体层中夹设有与外设电源控制连接的高分子电热膜;所述监控系统分设为监测单元和控制单元;所述监测单元为一环境温湿度传感器和至少1个叶片表面温度传感器;其中,环境温湿度传感器装于所述风力发电机的机舱上方或其轮毂上,所述叶片表面温度传感器装于所述叶片前缘设有高分子电热膜的壳体表面上,分别监测该叶片本体所处的环境温湿度和叶片本体表面的温度;所述控制单元安装在所述风力发电机的机舱罩内,该控制单元内预设有所述防结冰风电叶片所述环境的临界结冰值和结冰条件;当监测到的环境温湿度和叶片表面温度完全满足设定的所述结冰条件时,控制单元控制所述电源与高分子电热膜连通,对高分子电热膜通电加热;当监测到的环境温湿度和叶片表面温度中任一项不满足设定的所述结冰条件时,控制单元控制所述电源与高分子电热膜断开,停止对其通电加热;构成所述防结冰风电叶片。

2. 如权利要求1所述的防结冰风电叶片,其特征在于:所述临界结冰值包括临界结冰温度、临界结冰湿度和临界保护温度;所述结冰条件设定为该叶片本体所处的环境温度低于临界结冰温度、环境相对湿度高于临界结冰湿度且叶片表面温度低于临界保护温度。

3. 如权利要求2所述的防结冰风电叶片,其特征在于:所述吸力面壳体和所述压力面壳体均为由内蒙皮和外蒙皮包覆中间芯材通过真空导入模塑工艺一体成型的夹芯型结构件;其中,外蒙皮与内蒙皮的厚度相同,均由2~3层玻璃纤维布铺覆而成;所述高分子电热膜位于所述外蒙皮的外表面或该外蒙皮外层玻璃纤维布和相邻的第2层玻璃纤维布之间且与外蒙皮一体成型。

4. 如权利要求3所述的防结冰风电叶片,其特征在于:所述叶片本体的迎风一侧为叶片前缘,背风一侧为叶片后缘;所述高分子电热膜至少覆盖所述压力面壳体和所述吸力面壳体位于该叶片前缘的部分区域;该高分子电热膜至少铺覆1片,其形状与所覆盖的叶片壳体区域随形;每片高分子电热膜的厚度为0.2~1mm。

5. 如权利要求4所述的防结冰风电叶片,其特征在于:所述高分子电热膜铺覆多片,每片高分子电热膜上各装有2个电极;多片高分子电热膜之间并联相接;所述电源的电压为90V~380V,每片高分子电热膜在该电压范围内的功率密度为100~1000W/m²。

6. 如权利要求1-5任一项所述的防结冰风电叶片,其特征在于:所述控制单元由顺序串连相接的温湿度变送器、可编程逻辑控制器和固态继电器组成;其中,温湿度变送器接收由所述叶片表面温度传感器输出的叶片表面温度信号和所述环境温湿度传感器输出的环境温度信号及环境相对湿度信号,将其接收的物理信号转换成电信号后通过传输端传送到所述可编程逻辑控制器中;所述结冰条件预设在该可编程逻辑控制器内,该结冰条件包括所述叶片所处的环境温度小于预设的临界结冰温度值且环境湿度大于预设的临界结冰湿度值和叶片表面温度低于临界保护温度值;若所述叶片的环境温度、环境湿度和叶片表面温度同时满足所述结冰条件时,可编程逻辑控制器通过其输出端向所述固态继电器发出开启信号,该固态继电器的触点接通外设电源与高分子电热膜的连接;若所述叶片的环境温度或环境湿度或叶片表面温度不满足上述任意一项结冰条件时,可编程逻辑控制器向所述固态继电器发出关断信号,该固态继电器则断开外设电源与高分子电热膜的连接。

7. 一种权利要求 1 ~ 6 任一项所述防结冰风电叶片的制备方法,包括步骤如下:

1) 用真空导入模塑工艺成型所述叶片本体的组成构件;包括剪切腹板、设有高分子电热膜的吸力面壳体 and 压力面壳体;所述高分子电热膜通过与其相接的支导线与主导线连接;

2) 用结构胶将步骤 1) 成型的剪切腹板、吸力面壳体和压力面壳体粘接为一体,成型为所述叶片本体的毛坯件;将其修整并在其叶片前缘和叶片后缘部位分别手糊玻纤布进行补强;

3) 对步骤 2) 补强后的所述叶片本体毛坯件的根部进行切割和钻孔;再在其叶片本体的表面涂装保护层;

4) 将步骤 3) 叶片本体的根部与所述风力发电机的轮毂固接,并在其上安装监测单元和控制单元;其中,控制单元固装在所述风力发电机机舱罩的内壁上,在轮毂和机舱罩内发电机转子的连接轴上固装一导电滑环;与所述高分子电热膜连接的主导线通过该导电滑环分别与所述控制单元内设的固态继电器触点端和电源零线相接,并通过该固态继电器与外设电源火线连接构成一通电或断电回路;

其中,步骤 1) 所述的高分子电热膜至少为 1 片,其厚度为 0.2 ~ 1mm,至少铺覆于所述吸力面壳体和所述压力面壳体靠近前缘的部分区域。

8. 如权利要求 7 所述的制备方法,其特征在于:所述高分子电热膜铺覆有多片,铺覆于所述吸力面壳体和所述压力面壳体易结冰区域或整个壳体的表面;多片高分子电热膜分别通过与其两电极各自连接的支导线并联相接于两条主导线上,相邻 2 片高分子电热膜的周边各留有 0 ~ 5mm 的空隙。

9. 如权利要求 7 或 8 所述的制备方法,其特征在于:步骤 4) 所述的监测单元分设有环境温湿度传感器和至少 1 个叶片表面温度传感器;其中,环境温湿度传感器装于所述风力发电机的机舱上方或轮毂上,监测该叶片本体所处的环境温度和湿度;叶片表面温度传感器装于该叶片本体设有高分子电热膜的部位上,监测其叶片本体表面的温度;所述控制单元内还设有与所述固态继电器串联相接的可编程逻辑控制器和温湿度变送器;其中,温湿度变送器接收由所述叶片表面温度传感器输出的叶片表面温度信号和所述环境温湿度传感器输出的环境温度信号及环境相对湿度信号,将其接收的物理信号转换成电信号后通过传输端传送至所述可编程逻辑控制器中;所述结冰条件预设在该可编程逻辑控制器内,该结冰条件包括所述叶片所处的环境温度小于预设的临界结冰温度值且环境湿度大于预设的临界结冰湿度值和叶片表面温度低于临界保护温度值;若所述叶片的环境温度、环境湿度和叶片表面温度同时满足所述结冰条件时,可编程逻辑控制器通过其输出端向所述固态继电器发出开启信号,该固态继电器的触点端接通外设电源与高分子电热膜的连接;若所述叶片的环境温度或环境湿度或叶片表面温度不满足上述任意一项结冰条件时,可编程逻辑控制器向所述固态继电器发出关断信号,该固态继电器的触点端则断开外设电源与高分子电热膜的连接。

10. 如权利要求 9 所述防结冰风电叶片的制备方法,其特征在于:多片所述高分子电热膜在铺覆前还有对每片高分子电热膜及其所定位置进行编号排序的步骤;按照其编号排序的位置依次平铺于所述外蒙皮的外表面或形成该外蒙皮的外层玻璃纤维布和与其相邻的第二层玻璃纤维布之间,通过真空导入模塑工艺与其所在的吸力面壳体或压力面壳体一体成型。

一种防结冰风电叶片及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风电叶片及其制备方法,具体讲是一种防结冰风电叶片及其制备方法。

背景技术

[0002] 风能是非常重要的安全、洁净能源,风力发电是风能利用的主要形式。我国的风力资源主要分布在冰天雪地的三北(东北、西北、华北)地区及湿气非常大的沿海地带,环境极其恶劣。当风力发电机组安装在这些地区时,风电叶片在摄氏零度以及零度以下低温条件下运行时,如遇潮湿空气、雨水、冰雪特别是遇到过冷却水滴时,会发生冰冻现象。风力机叶片的结冰问题是影响其安全可靠性的主要因素之一。风电叶片覆冰后,对叶片表面结构、平衡、自重等造成影响,会导致风力机叶片的翼型发生变化,影响风力机的空气动力学性能,进而影响叶片的使用寿命,直接威胁到机组的安全和效率。目前还没有成熟的风力机叶片防除冰技术,对于风电叶片覆冰,一般采用停机处理,影响了电网系统的正常运行,限制了对风能的利用。因此,研究冬季寒冷地区特别是湿冷地区风电叶片的防结冰技术对于风电场及大型风力机的安全、经济、高效运行具有重要的意义。

[0003] 风电叶片结冰的问题长期以来一直倍受关注;目前已有的解决方法包括如下几种:其一、采用循环通道内通热空气的防结冰方法,或是在叶片的内腔安装固定的微波发生器,利用微波能量来加热复合材料而除冰。该方法受叶片结构的限制,需要热量的迎风面因材质的导热系数小、且厚度较厚,尤其对于大型叶片除冰效果不理想。若加热温度过高,对叶片所用树脂的热变形温度有很高要求并有可能带来新问题,很难在实际运用中推广。其二、通过叶片变桨电机使叶片形成加速变桨后减速的颤抖,或是在叶片上安装振动器,使叶片的至少一部分振动,抖掉叶片上的结冰的方法。但这些方法由于振动的幅度比较小,很难将根部的结冰去除,如果增大振动幅度,将形成较大的冲击载荷,对整个风力发电机系统造成冲击,降低相关零部件的使用寿命,从而降低风力发电机组的安全性和可靠性。其三、利用在叶片的前缘安装可充气的气囊来实现防除冰,但气囊的充气会改变翼型或叶片的空气动力学特性,并且在某些外界条件下气囊本身会易于疲劳和失效。其四、采用在翼型的前缘上安装金属导体利用电加热来防除冰,该除冰方法的除冰效率较高,但这种方法中的金属导体会提供雷击的通路,容易导致叶片遭受雷击而失效。除此之外,还有倾向于通过在叶片表面喷涂疏水性涂料以降低表面亲水性能以达到防结冰目的的方法,但是效果不理想,只能起到一定的防结冰作用,达不到完全不结冰的目的。

发明内容

[0004] 为了解决上述现有技术中存在的不足,本发明的目的是提供一种在靠近叶片本体的外表面中设置通电的自动控制加热装置,在温度低于结冰点的环境下,可在风力发电机不停机的情况下加热叶片本体,实现该叶片本体表面防结冰功能的防结冰风电叶片;同时还提供了该防结冰风电叶片的制备方法。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案,一种防结冰风电叶片,包括监控系统、与风力发电机连接的叶片本体和电源;所述叶片本体的内腔由吸力面壳体和压力面壳体对接而成,其内腔中固接有一支撑该吸力面壳体和压力面壳体内壁的剪切腹板;其特点为:在所述吸力面壳体和所述压力面壳体的表面或其壳体层中夹设有与外设电源控制连接的高分子电热膜;所述监控系统分设为监测单元和控制单元;所述监测单元为一环境温湿度传感器和至少1个叶片表面温度传感器;其中,环境温湿度传感器装于所述风力发电机的机舱上方或其轮毂上,所述叶片表面温度传感器装于所述叶片前缘设有高分子电热膜的壳体表面上,分别监测该叶片本体所处的环境温度和湿度以及叶片本体表面的温度;所述控制单元安装在所述风力发电机的机舱罩内,该控制单元内预设有该防结冰风电叶片所述环境的临界结冰值和结冰条件;当监测到的环境温湿度和叶片表面温度完全满足设定的所述结冰条件时,控制单元控制所述电源与高分子电热膜连通,对高分子电热膜通电加热;当监测到的环境温湿度和叶片表面温度中任一项不满足设定的结冰条件时,控制单元控制所述电源与高分子电热膜断开,停止对其通电加热;构成所述防结冰风电叶片。

[0006] 上述的临界结冰值包括临界结冰温度、临界结冰湿度和临界保护温度;上述的结冰条件设定为该叶片本体所处的环境温度低于所述的临界结冰温度、环境相对湿度高于所述临界结冰湿度且叶片表面温度低于所述临界保护温度。

[0007] 上述的吸力面壳体和压力面壳体均为由内蒙皮和外蒙皮包覆中间芯材通过真空导入模塑工艺一体成型的夹芯型结构件;其中,外蒙皮与内蒙皮的厚度相同,均由2~3层玻璃纤维布铺覆而成;所述高分子电热膜位于所述外蒙皮的外表面或该外蒙皮外层玻璃纤维布和相邻的第2层玻璃纤维布之间且与外蒙皮一体成型。

[0008] 上述叶片本体的迎风一侧为叶片前缘,背风一侧为叶片后缘;所述高分子电热膜至少覆盖所述压力面壳体和所述吸力面壳体位于该叶片前缘的部分区域;其中,高分子电热膜至少铺覆1片,其形状与所覆盖的叶片壳体区域随形;每片高分子电热膜的厚度为0.2~1mm。

[0009] 上述的高分子电热膜铺覆多片,每片高分子电热膜上各装有2个电极;多片高分子电热膜之间并联相接;所述电源的电压为90V~380V,每片高分子电热膜在该电压范围内的功率密度为100~1000W/m²。

[0010] 上述的监测单元中,环境温湿度传感器和叶片表面温度传感器通过无线通讯方式将其接收的信号传送至控制单元中。上述的控制单元由顺序串连相接的温湿度变送器、可编程逻辑控制器和固态继电器组成;其中,温湿度变送器通过内置的无线接收器接收由上述叶片表面温度传感器输出的叶片表面温度信号和上述环境温湿度传感器输出的环境温度信号及环境相对湿度信号,将其接收的物理信号转换成电信号后通过传输端传送至可编程逻辑控制器中;其中,结冰条件预设在该可编程逻辑控制器内,该结冰条件包括其叶片所处的环境温度小于预设的临界结冰温度值且环境湿度大于预设的临界结冰湿度值和叶片表面温度低于临界保护温度值;若所述叶片的环境温度、环境湿度和叶片表面温度同时满足上述的结冰条件时,可编程逻辑控制器通过其输出端向所述固态继电器发出开启信号,该固态继电器的触点接通外设电源与高分子电热膜的连接;若所述叶片的环境温度或环境湿度或叶片表面温度不满足上述任意一项结冰条件时,可编程逻辑控制器向固态继电器发出关断信号,该固态继电器则断开外设电源与所述高分子电热膜的连接。

[0011] 为了实现上述目的,本发明还提供了一种上述防结冰风电叶片的制备方法,包括步骤如下:

1)用真空导入模塑工艺成型所述叶片本体的组成构件;包括剪切腹板、设有高分子电热膜的吸力面壳体 and 压力面壳体;

2)用结构胶将步骤1)成型的剪切腹板、吸力面壳体和压力面壳体粘接为一体,成型为所述叶片本体的毛坯件;将其修整并在其叶片前缘和叶片后缘部位分别手糊玻纤布进行补强;

3)对步骤2)叶片本体毛坯件的根部进行切割和钻孔;再在其叶片本体的表面涂装保护层;

4)将步骤3)叶片本体的根部与所述风力发电机的轮毂固接,并在其上安装监测单元和控制单元;其中,控制单元固装在所述风力发电机机舱罩的内壁上,在轮毂和机舱罩内发电机转子的连接轴上固装一导电滑环;与所述高分子电热膜连接的主导线通过该导电滑环分别与所述控制单元内设的固态继电器触点端和电源零线相接,并通过该固态继电器与外设电源火线连接构成一通电或断电回路;

其中,步骤1)中的高分子电热膜至少为1片,其厚度为0.2~1mm,至少铺覆于所述吸力面壳体和所述压力面壳体靠近前缘的部分区域。高分子电热膜铺覆有多片,可以铺覆于上述的吸力面壳体和压力面壳体易结冰区域或整个壳体的表面;多片高分子电热膜分别通过与其两电极各自连接的支导线并联相接于两条主导线上,相邻2片高分子电热膜的周边各留有0~5mm的空隙。

[0012] 多片高分子电热膜在铺覆前还有对每片高分子电热膜及其所定位置进行编号排序的步骤;按照其编号排序的位置依次平铺于所述外蒙皮的外表面或形成该外蒙皮的外层玻璃纤维布和与其相邻的第二层玻璃纤维布之间,通过真空导入模塑工艺与其所在的吸力面壳体或压力面壳体一体成型。

[0013] 步骤4)中的监测单元分设有环境温湿度传感器和至少1个叶片表面温度传感器;其中,环境温湿度传感器装于所述风力发电机的机舱上方或轮毂上,监测该叶片本体所处的环境温度和湿度;叶片表面温度传感器装于该叶片本体设有高分子电热膜的部位上,监测其叶片本体表面的温度;上述的控制单元内还设有与所述固态继电器串联相接的可编程逻辑控制器以及温湿度变送器;其中,温湿度变送器接收由所述叶片表面温度传感器输出的叶片表面温度信号和所述环境温湿度传感器输出的环境温度信号及环境相对湿度信号,将其接收的物理信号转换成电信号后通过传输端传送至所述可编程逻辑控制器中;所述结冰条件预设于所述可编程逻辑控制器内,该结冰条件包括所述叶片所处的环境温度小于预设的临界结冰温度值且环境湿度大于预设的临界结冰湿度值和叶片表面温度低于临界保护温度值;若所述叶片的环境温度、环境湿度和叶片表面温度同时满足所述结冰条件时,可编程逻辑控制器通过其输出端向所述固态继电器发出开启信号,该固态继电器的触点端接通外设电源与高分子电热膜的连接;若所述叶片的环境温度或环境湿度或叶片表面温度不满足上述任意一项结冰条件时,可编程逻辑控制器向所述固态继电器发出关断信号,该固态继电器的触点端则断开外设电源与所述高分子电热膜的连接。

[0014] 由于采用了上述技术方案,本发明的有益效果如下:1)本发明提供的防结冰风电叶片,采用高分子电热膜进行加热,可覆盖叶片壳体表面层或叶片壳体外蒙皮近表面层的

全部区域或易结冰的局部区域,高分子电热膜发热均匀、发热效率高且安全性好,有效实现叶片表面防结冰。2) 高分子电热膜与叶片壳体外表皮通过一体成型与树脂粘合在一起,不易损坏;高分子电热膜为连续结构,即使局部地方损坏,不影响其整体使用,可提高该叶片的使用寿命。3) 所用的高分子电热膜的厚度为 0.2 ~ 1mm,成型到叶片外表皮表面或外表皮中时比较轻薄,只轻微增加叶片重量,不会对叶片的气动外形产生不良影响。4) 本发明的高分子电热膜,其通断电由监控系统控制;该监控系统监测叶片所在的环境温度和湿度以及叶片表面温度,当叶片所在的环境温度小于预设的结冰温度值且环境湿度大于预设的结冰湿度值时,控制电源与高分子电热膜连通,通电加热高分子电热膜,有效防止叶片的表面结冰。同时,还可控制高分子电热膜在通电状态下维持在一定温度范围内加热,避免升温太高,保护叶片树脂和表面保护涂层不受损坏。5) 本发明可在不停机的情况下实现对风电叶片在线防结冰,大大减少了风力发电机的非计划停机,保证其在寒冷气候条件下提供持续的电力供应,提高风力机的风能利用效率。6) 本发明提供的制备方法,在铺层时高分子电热膜直接与叶片壳体通过成熟的真空导入模塑工艺一体成型,无需额外复杂工序及使用任何大型复杂设备,工艺简单,可推广应用。

附图说明

- [0015] 图 1 为本发明防结冰风电叶片的电路连接结构示意图。
[0016] 图 2 为本发明防结冰风电叶片沿长向的整体结构外形示意图。
[0017] 图 3 为图 2A-A 向的剖面结构示意图。
[0018] 图 4 为图 3 的 B 处局部结构放大图。
[0019] 图 5 为监控系统、电源及高分子电热膜之间的工作原理示意图。
[0020] 图 6 为本发明吸力面壳体或压力面壳体的成型工艺流程图。

具体实施方式

[0021] 本发明的防结冰风电叶片,包括监控系统、与风力发电机连接的叶片本体和电源,叶片本体的内腔由吸力面壳体和压力面壳体对接而成,其内腔中固接有一支撑该吸力面壳体和压力面壳体内壁的剪切腹板;

其中,在吸力面壳体和压力面壳体的外表面或构成壳体的增强材料层中夹设有高分子电热膜;该高分子电热膜两端设有电极,通过支导线连接主导线与外设电源连接;

监控系统分设为监测单元和控制单元;监测单元为一环境温湿度传感器和至少 1 个叶片表面温度传感器;其中,环境温湿度传感器装于该风力发电机的机舱上方或其轮毂上;叶片表面温度传感器装于上述叶片前缘设有高分子电热膜的壳体表面上;环境温湿度传感器和叶片表面温度传感器分别监测该叶片本体所处的环境温湿度和叶片本体表面的温度。

[0022] 控制单元安装在该风力发电机的机舱罩内,该控制单元由串联相接的温湿度变送器、可编程逻辑控制器(PLC)和固态继电器组成;其中,温湿度变送器实时接收由环境温湿度传感器和叶片表面温度传感器分别采集该叶片本体所处环境的温度信号、湿度信号和叶片本体表面温度信号;温湿度变送器将所接收到的温度和湿度的物理信号转换成标准电信号后传送至 PLC 中,PLC 按预先编制好的程序对其进行处理;当环境温度和湿度以及叶片表面温度同时达到预设的临界结冰值和结冰条件时,经 PLC 处理后输出 DC24V 电压触发

固态继电器,从而控制电源与高分子电热膜接通,对高分子电热膜通电加热;一旦当叶片表面温度高于临界保护温度或结冰条件消失时,即叶片的环境温度、环境湿度和叶片表面温度中任一项不满足设定的结冰条件时,经 PLC 处理后关断输出触点,使固态继电器停止工作,从而断开电源,不再向高分子电热膜加热;由此构成所述防结冰风电叶片。

[0023] 其中,预先编制好的程序是针对不同的环境设定该防结冰风电叶片的临界结冰值和结冰条件;临界结冰值包括临界结冰温度、临界结冰湿度和临界保护温度;结冰条件设定为环境温度低于临界结冰温度、环境相对湿度高于临界结冰湿度且叶片表面温度低于临界保护温度。

[0024] 剪切腹板支撑于吸力面壳体和压力面壳体对接形成的内腔中,三者均可采用常规的真空导入模塑工艺成型;然后再通过结构胶将上述部件粘接为一体构成所述的叶片本体;该叶片本体的迎风一侧为叶片前缘,背风一侧为叶片后缘。

[0025] 其中,吸力面壳体和压力面壳体均为由外蒙皮和内蒙皮包覆中间芯材的夹芯型结构件;其中,外蒙皮和内蒙皮均由 2~3 层玻璃纤维布铺设而成;高分子电热膜位于外蒙皮的外表面或夹设于该外蒙皮的外层玻璃纤维布和相邻第二层玻璃纤维布之间,通过真空条件下灌注环氧树脂或不饱和聚酯树脂一体成型。

[0026] 上述高分子电热膜至少覆盖所述压力面壳体和所述吸力面壳体位于该叶片前缘的部分区域;该高分子电热膜至少铺覆 1 片,其形状与所覆盖的叶片壳体区域随形;每片高分子电热膜的厚度为 0.2~1mm。

[0027] 上述高分子电热膜铺覆多片时,多片高分子电热膜并联连接;所用电源的电压为 90V~380V,每片高分子电热膜在该电压范围内的功率密度为 100~1000W/m²。

[0028] 本发明还提供了一种上述防结冰风电叶片的制备方法,包括步骤如下:

1) 用真空导入模塑工艺成型所述叶片本体的组成构件;包括剪切腹板、设有高分子电热膜的吸力面壳体和压力面壳体;

2) 用结构胶将步骤 1) 成型的剪切腹板、吸力面壳体和压力面壳体粘接为一体,成型为所述叶片本体的毛坯件;将其修整并在其叶片前缘和叶片后缘部位分别手糊玻纤布进行补强;

3) 对步骤 2) 补强后叶片本体的根部进行切割和钻孔;再在其叶片本体的表面涂装保护层;

4) 将步骤 3) 叶片本体的根部与所述风力发电机的轮毂固接,并在其上安装监测单元和控制单元;其中,控制单元固装在所述风力发电机机舱罩的内壁上,在轮毂和机舱罩内发电机转子的连接轴上固装一导电滑环;与高分子电热膜连接的主导线通过该导电滑环分别与控制单元内设的固态继电器触点端和电源零线相接,并通过该固态继电器与外设电源火线连接构成一通电或断电回路;

其中,步骤 1) 中的高分子电热膜至少为 1 片,至少铺覆于所述吸力面壳体和所述压力面壳体靠近前缘的部分区域;每片高分子电热膜的厚度相同,均为 0.2~1mm,其上接有 2 个电极,每片高分子电热膜通过与其两个电极相接的支导线连接到两条主导线上。

[0029] 高分子电热膜铺覆多片时,可以铺覆于上述的吸力面壳体和压力面壳体易结冰区域或整个壳体的表面;多片高分子电热膜分别通过与其两电极各自连接的支导线并联相接于两条主导线上,相邻 2 片高分子电热膜的周边可以留有间隙,也可以紧挨着铺放;其间隙

小于或等于 5mm。

[0030] 铺覆多片高分子电热膜时,将各片高分子电热膜及其所在位置进行编号排序;按照其编号排序的特定位置依次平铺于该外蒙皮的外表面或形成该外蒙皮的外层玻璃纤维布和与其相邻的第二层玻璃纤维布之间,通过真空导入模塑工艺与其所在的吸力面壳体或压力面壳体一体成型。每片高分子电热膜通过与其两电极相接的支导线分别与两条主导线并联相接;再通过主导线与外设电源相接。

[0031] 步骤 1)中所用的真空导入模塑工艺为现有技术,分别成型剪切腹板、夹设有高分子电热膜的吸力面壳体和压力面壳体;

在上述叶片本体的吸力面壳体和压力面壳体成型时,高分子电热膜铺覆于吸力面壳体和压力面壳体靠近前缘的部分区域、易结冰区域或整个吸力面壳体和压力面壳体的表面。

[0032] 步骤 3)中所用的结构胶为环氧结构胶;步骤 3)所用的保护涂层为叶片常用的聚氨酯保护涂层体系。

[0033] 步骤 4)中的监测单元分设有环境温湿度传感器和至少 1 个叶片表面温度传感器;其中,环境温湿度传感器装于所述风力发电机的机舱上方或轮毂上,监测该叶片本体所处的环境温度和湿度;叶片表面温度传感器装于该叶片本体设有高分子电热膜的部位上,监测其叶片本体表面的温度;上述的控制单元内还设有与所述固态继电器串联相接的可编程逻辑控制器以及温湿度变送器;其中,温湿度变送器接收由所述叶片表面温度传感器输出的叶片表面温度信号和所述环境温湿度传感器输出的环境温度信号及环境相对湿度信号,将其接收的物理信号转换成电信号后通过传输端传送至所述可编程逻辑控制器中;所述结冰条件预设在该可编程逻辑控制器内,该结冰条件包括所述叶片所处的环境温度小于预设的临界结冰温度值且环境湿度大于预设的临界结冰湿度值和叶片表面温度低于临界保护温度值;若所述叶片的环境温度、环境湿度和叶片表面温度同时满足所述结冰条件时,可编程逻辑控制器通过其输出端向所述固态继电器发出开启信号,该固态继电器的触点端接通外设电源与高分子电热膜的连接;若所述叶片的环境温度或环境湿度或叶片表面温度不满足上述任意一项结冰条件时,可编程逻辑控制器向所述固态继电器发出关断信号,该固态继电器的触点端则断开外设电源与所述高分子电热膜的连接。

[0034] 以下结合附图对本发明的技术方案作进一步详细说明。

[0035] 如图 1、图 2、图 3 所示,本发明的防结冰叶片包括叶片本体 1、叶片表面温度传感器 2、环境温湿度传感器 3、控制单元 4、电源 5、高分子电热膜 6、电极 7、主导线 8、支导线 9、吸力面壳体 10、压力面壳体 11、剪切腹板 12、叶片前缘 13、叶片后缘 14 和导线 16。

[0036] 其中,叶片本体 1 由吸力面壳体 10、压力面壳体 11 和剪切腹板 12 通过采用环氧结构胶将其粘接为一体构成;该叶片本体 1 的迎风一侧为叶片前缘 13,背风一侧为叶片后缘 14;多片高分子电热膜 6 可并联铺设于叶片前缘 13 外表面的局部;也可夹设于叶片前缘 13 外蒙皮最外层玻璃纤维布和与其相邻的第二层玻璃纤维布之间的局部,至少覆盖叶片吸力面壳体和压力面壳体靠近前缘的部分区域,通过真空导入模塑工艺与外蒙皮一体成型,高分子电热膜 6 由最外层玻璃纤维布增强树脂层保护,可使其免受外界环境的侵袭,有效提高叶片本体 1 的使用寿命。

[0037] 本实例中,吸力面壳体中设有 5 片矩形的高分子电热膜 6,铺设于叶片前缘 13 的部位,每片高分子电热膜 6 与叶片长度方向平行的一侧边的两端设有 2 个独立电极 7,通过

支导线 9 并接于 2 根与电源 5 正负极连接的主导线 8 上 ; 将 5 片高分子电热膜 6 并联后与电源 5 构成一回路 ; 电源 5 通过导线 16 与控制单元 4 连接 ; 根据叶片本体易结冰的位置不同, 高分子电热膜 6 可以设为矩形, 也可以为与叶片壳体表面层随形的其它任意形状。相邻两片高分子电热膜 6 之间留有间隙, 也可以完全对接。

[0038] 多片高分子电热膜 6 的形状和大小可以相同, 也可不同, 本实例中高分子电热膜 6 为矩形形状, 在每个高分子电热膜一侧边的两端分别装有电极 7 ; 多片高分子电热膜 6 的电极由支导线 9 分别引出与两条主导线 8 并联连接 ; 两条主导线 8 通过固装在在轮毂和机舱罩内发电机转子的连接轴上的导电滑环分别与控制单元 4 内设的固态继电器 43 触点端和电源零线相接, 并通过该固态继电器与外设电源火线连接构成一通电或断电回路。本实例中所用的导电滑环选用深圳市森瑞普电子有限公司生产的型号为 SNF030-0330 的导电滑环。

[0039] 本实施例中的压力面壳体中, 高分子电热膜 6、监测单元 2、3 及线路连接和吸力面壳体中的相同且位置对应。

[0040] 本发明所用的电源电压为 90~380V, 在此电压范围内, 成型到叶片中的高分子电热膜的功率密度在 100~1000W/m² 之间。根据每片高分子电热膜所在的叶片区域的结冰风险程度不同, 每个区域的高分子电热膜的功率密度可设置为相同或不同, 结冰风险较高的区域可采用功率密度相对较大的高分子电热膜, 而结冰风险低的区域采用功率密度较低的高分子电热膜。在外接电源为 90V 的情况下, 叶片表面层中的高分子电热膜的功率密度最小不超过 100 W/m², 在外接电源为 380V 的情况下, 叶片表面层中的高分子电热膜的功率密度最大不超过 1000 W/m²。

[0041] 吸力面壳体 10 和压力面壳体 11 均为外蒙皮和内蒙皮包覆中间芯材的夹芯型结构件。构成叶片壳体的外蒙皮和内蒙皮厚度相同, 各自铺设 2~3 层玻璃纤维布。

[0042] 外蒙皮和内蒙皮之间的夹芯型结构包括常规使用的叶片主承力梁、轻木夹芯材料和 PVC 夹芯材料。

[0043] 叶片表面温度传感器 2 和环境温湿度传感器 3 组成监测单元, 其中叶片表面温度传感器 2 至少装有 1 个, 本实例中装有 4 个, 吸力面壳体 10 和压力面壳体 11 上各装有 2 个, 分别装在叶片前缘 13 设有高分子电热膜 6 的外蒙皮的表面上 ; 环境温湿度传感器 3 装在风力发电机的机舱外, 也可以装在风力发电机的轮毂上 ; 叶片表面温度传感器 2 和环境温湿度传感器 3 分别采集叶片本体表面温度信号和该叶片本体所处环境的温湿度信号, 并将采集的信号通过无线通讯的方式发送至控制单元 4 中, 由控制单元 4 控制电源 5 与高分子电热膜 6 的通断。

[0044] 如图 4 所示, 为图 3 中 B 点的局部结构放大图 ; 其中, 吸力面壳体和压力面壳体的结构相同, 均由外蒙皮 B1、中间夹芯型结构层 B2 和内蒙皮 B3 构成 ; 其中, 外蒙皮 B1 和内蒙皮 B3 的铺设厚度相同, 均铺有 3 层玻璃纤维布 15 ; 中间夹芯型结构层 B2 包括常规使用的叶片主承力梁、轻木夹芯材料和 PVC 夹芯材料。

[0045] 其成型原理为 : 将 1 层厚度为 0.3mm 的高分子电热膜 6 夹设在叶片前缘的外蒙皮外层玻璃纤维布 15 与其相邻的第二层玻璃纤维布之间, 然后将其外蒙皮最外层的玻璃纤维布 15、高分子电热膜 6、第二层玻璃纤维布和其它增强材料采用现有的真空导入模塑工艺一体成型为该叶片的吸力面壳体或压力面壳体 ; 其中, 真空导入模塑工艺中用到的树脂

为环氧树脂;也可用不饱和聚酯树脂替代环氧树脂。

[0046] 由于高分子电热膜 6 与叶片壳体外表面的外表面之间只有 1 层玻璃纤维布 15 相隔,这样在通电加热时,高分子电热膜 6 辐射的热量可快速传递到叶片表面,而向叶片内部传递损失的热量较少,从而提高加热效率,避免能量损失;高分子电热膜 6 和叶片本体的外表蒙皮融为一体,高分子电热膜 6 的外表面有 1 层玻璃纤维布增强树脂层保护,避免后期修补打磨及涂装保护层时对高分子电热膜 6 造成损伤,可延长高分子电热膜 6 的使用寿命。除此之外,高分子电热膜 6 还可铺放在外表蒙皮最外层玻璃纤维布 15 外表面的局部;除了在叶片前缘部位设置高分子电热膜 6 之外,还可根据该叶片不同部位的结冰风险程度不同,在其它较易结冰的部位设置高分子电热膜 6;也可以根据需要在整个叶片壳体的外表蒙皮层中或外表蒙皮表面铺满高分子电热膜 6。

[0047] 如图 5 所示,为本发明的监控系统、电源及高分子电热膜之间的工作原理示意图。电源 5 与高分子电热膜 6 接通或断开由监控系统控制,监控系统分设有监测单元和控制单元 4,其中,监测单元分设有环境温湿度传感器 3 和至少 1 个叶片表面温度传感器 2;控制单元 4 由顺序相接的温湿度变送器 41、PLC 42 和固态继电器 43 组成。

[0048] 本实施方式中,控制单元 4 安装在风力发电机机舱罩内;根据本发明的防结冰风电叶片特定的工作环境,控制单元 4 中预先针对不同环境设定该防结冰风电叶片的临界结冰值和结冰条件;临界结冰值包括临界结冰温度、临界结冰湿度和临界保护温度;结冰条件设定为环境温度低于临界结冰温度、环境相对湿度高于临界结冰湿度且叶片表面温度低于临界保护温度;当环境温度和湿度以及叶片表面温度同时满足设定的结冰条件时,控制单元 4 中的 PLC 42 向固态继电器 43 发出开启指令,控制固态继电器 43 的触点接通电源 5 与高分子电热膜 6;反之,则向固态继电器 43 发出关断指令,控制其触点断开电源与高分子电热膜 6 的连通。

[0049] 控制电源 5 与高分子电热膜 6 连通或断开的原理为:叶片表面温度传感器 2 设有 4 个,分别对称安装在靠近叶片前缘处易结冰的吸力面壳体和压力面壳体表面;1 个环境温湿度传感器 3 安装在风力发电机的机舱上或安装在与该叶片本体的根部相连的轮毂上;其中,环境温湿度传感器 3 采集叶片所在环境的温度和相对湿度,叶片表面温度传感器 2 采集叶片表面的温度,各传感器随时将其采集到的信号数据通过无线通讯的方式传送至控制单元 4 中;温湿度变送器 41 输出线接入 PLC 42 模拟量输入模块;PLC 42 各单元模块通过自身携带的电缆总线进行连接;固态继电器 43 输入端连接到 PLC 42 数字量输出端子,固态继电器 43 输出端一接口连接电源火线,另一接口连接与高分子电热膜 6 连接的主导线。

[0050] 温湿度变送器 41 实时接收由叶片表面温度传感器 2 和/或环境温湿度传感器 3 发出的叶片表面的温度信号和环境温湿度信号,将其物理信号转换成标准的 4 ~ 20mA 的电信号,且将其电信号通过 PLC 42 进行分析判断并自动对固态继电器 43 下达触点接通或断开指令;固态继电器的触点和与多个高分子电热膜并接的主导线输入端相接;当固态继电器得到接通指令时,触点将电源与主导线接通,高分子电热膜通电加热;反之,固态继电器得到断开指令时,触点脱离电源线,断开电源与主导线的连接,高分子电热膜断电停止加热。

[0051] 本实施方式中,设定的临界结冰值为临界结冰温度为 0℃、临界结冰湿度为 80% 和临界保护温度为 30℃;结冰条件设定为环境温度 ≤ 0℃、环境相对湿度 ≥ 80%,且叶片表面温度 < 30℃;当监测到的环境温度、环境相对湿度和叶片表面温度同时满足结冰条件时,经

PLC 42 处理后输出 DC24V 电压触发固态继电器 43,从而控制电源 5 接通,对高分子电热膜 6 通电加热,并将热量传递到叶片的表面,叶片表面温度上升,防止叶片结冰。

[0052] 当接通电源后,控制单元仍实时接收叶片表面温度传感器 2、环境温湿度传感器 3 的输出信号并对其进行分析判断,当监测到的叶片表面温度、环境温度和相对湿度有一项不满足结冰条件时,即叶片表面温度高于 30℃或环境的相对湿度低于 80%或环境温度高于 0℃时,经 PLC 42 处理后输出关断信号,使固态继电器 43 停止工作,从而控制电源 5 断开,停止对高分子电热膜加热,防止叶片表面温度升至过高对叶片的树脂和保护涂层产生负面影响或是避免环境结冰条件消失时高分子电热膜 6 仍然继续工作以节约供电能源。

[0053] 根据叶片特定的工作环境,还可在控制单元 4 中设定针对不同环境风电叶片的临界结冰值和结冰条件;当环境温度和湿度以及叶片表面温度同时满足设定的结冰条件时,控制单元 4 控制电源接通。

[0054] 本发明监控系统中的监测单元和控制单元中所用的各组件均为市售产品;在本实施方式中,所用的环境温湿度传感器型号为 JCJ106 的无线温湿度传感器;叶片表面温度传感器用 4 个相同的 PT100-GPRS 无线温度传感器。所用的温湿度变送器采用型号为 KSW-R4 温湿度变送器;PLC 采用西门子公司生产、型号为 224XP CN, 214-2AD23-0XD8 的可编程逻辑控制器,固态继电器选用 G3NA-220B 欧姆龙固态继电器。

[0055] 如图 6 所示:本发明防结冰风电叶片的制备方法中,步骤 1) 利用真空导入模塑工艺成型夹设有高分子电热膜的吸力面壳体和压力面壳体的具体操作如下:

①、模具预处理;包括清理模具,修补平整后喷涂脱模剂。

[0056] ②、材料准备;除叶片壳体成型内、外蒙皮必需的玻璃纤维布、芯材、预制好的主梁、辅助材料外,选择多片高分子电热膜、支导线和主导线;其中多片高分子电热膜的形状、尺寸和电极引出位置根据待铺位置预先设定;并对设定位置的高分子电热膜编号排序。

[0057] ③、由外蒙皮铺层、高分子电热膜铺覆、布置主导线并连接高分子电热膜电极,芯材和主梁以及内蒙皮铺层的步骤;

首先铺放外蒙皮玻璃纤维布和高分子电热膜,从外向里外蒙皮的玻璃纤维布依次为 1 层带毡三轴玻璃纤维布、1 层三轴玻璃纤维布和 1 层双轴玻璃纤维布。铺层时依照设计图纸按照编号顺序将每片高分子电热膜依次铺放在叶片模具上相应的位置,高分子电热膜的铺放方式和外蒙皮玻璃纤维布的铺放方式相同,确保高分子电热膜与模具或外蒙皮玻璃纤维布随形且表面无褶皱。铺放的所有片高分子电热膜并联连接,即将每片高分子电热膜两极支导线的另一端分别焊接到两条主导线上。当高分子电热膜铺放在外蒙皮最外层玻璃纤维布的外面时,两条主导线在距离叶根 3~5m 的位置从前缘伸出模具,将主导线靠近模具前缘的一段和伸出模具的部分用真空袋单独密封,保证叶片脱模后主导线从外蒙皮引出的位置避开前缘粘接区。当高分子电热膜铺放在外蒙皮的几层玻璃纤维布中间时,两条主导线在距离叶根 3~5m 的位置穿过高分子电热膜下面的外蒙皮玻璃纤维布从前缘伸出模具,将主导线伸到外蒙皮最外层玻璃纤维布下面的部分和伸出模具的部分用真空袋单独密封,以免此部分在灌注时进树脂而导致脱模后无法与叶片壳体分离,同时确保叶片脱模后主导线从外蒙皮引出的位置避开前缘粘接区。在确保高分子电热膜及铺放在其下面外蒙皮玻璃纤维布在主导线引出位置至叶根部分均与模具贴实且无褶皱后,铺放外蒙皮剩余的其它玻璃纤维布,然后再铺放芯材和已预制的主梁,最后铺放内蒙皮玻璃纤维布。

[0058] ④、铺设辅助材料体系并设置注胶口和真空抽气口；

将裁剪好的脱模布满铺在叶片吸力面壳体预成型体和压力面壳体预成型体的外表面，在脱模布上表面铺设导流布、注胶管和导气管等真空导入模塑工艺辅助材料，并在模腔中设置注胶口和真空抽气口。

[0059] ⑤、真空袋膜密封并检验气密性；

最后用真空袋膜密封整个叶片预成型体和辅助材料体系，密封注胶口并将抽气口与真空泵相连，然后抽真空并检验密闭系统的气密性，确保气密性达到要求。

[0060] ⑥、准备树脂并灌注

将树脂体系混合均匀并进行脱泡处理，然后开启注胶口将树脂体系采用真空负压注入到叶片壳体的预成型体中，待树脂完全浸渍该成型体后关闭注胶口，并持续抽真空保持成型密闭系统内的真空度；其中树脂可采用环氧树脂或不饱和聚酯树脂，最佳使用环氧树脂。

[0061] ⑦、固化成型及后处理

将灌注完的体系按设定程序升温固化直至固化完全，固化完成后进行脱模、修整等后处理得到叶片的吸力面壳体和压力面壳体。

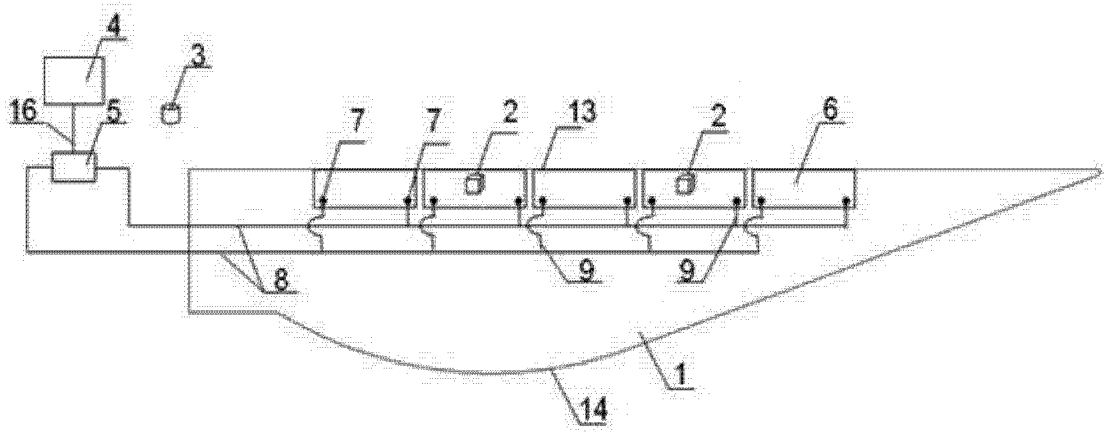


图 1

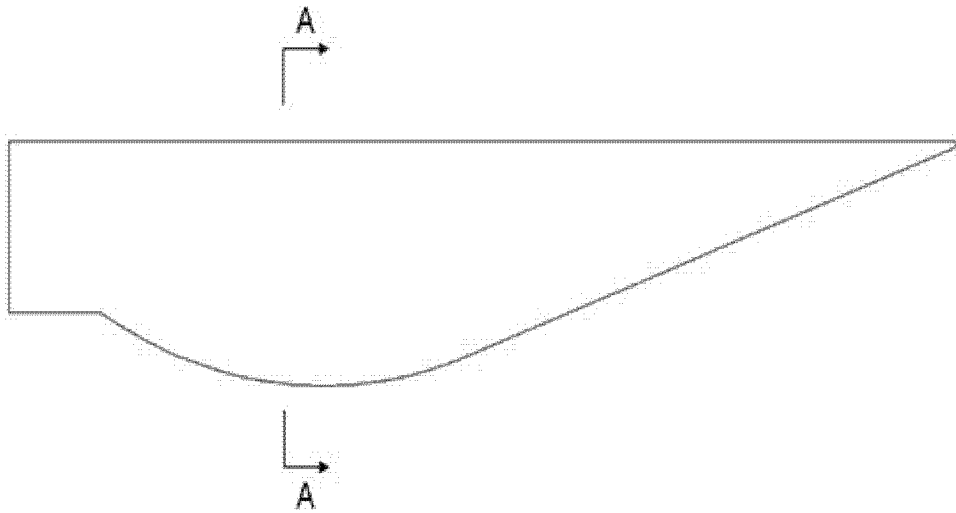


图 2

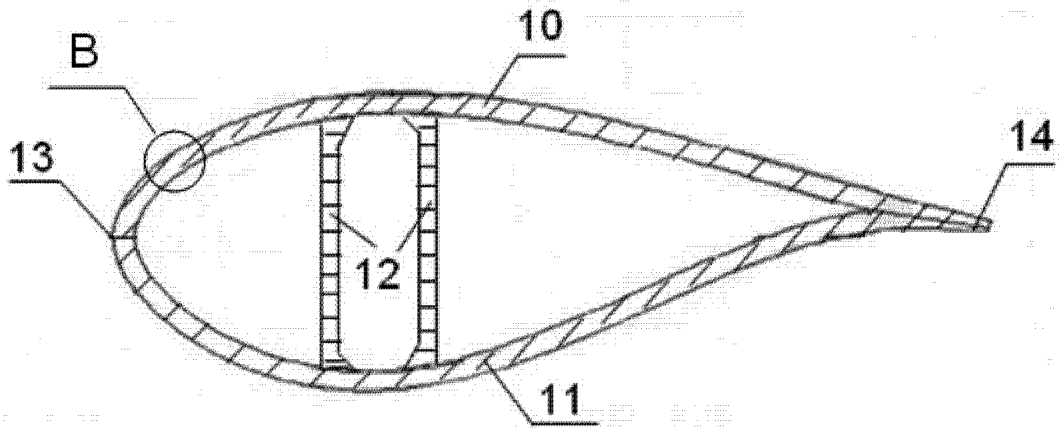


图 3

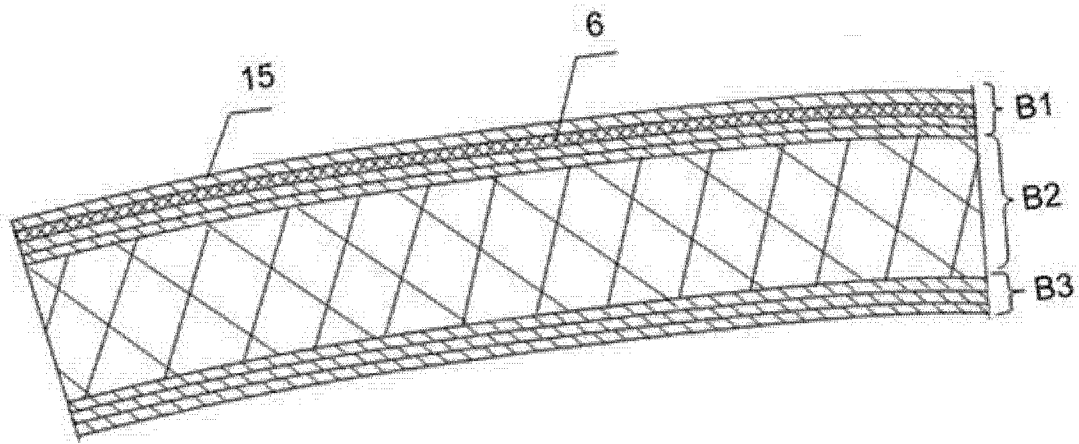


图 4

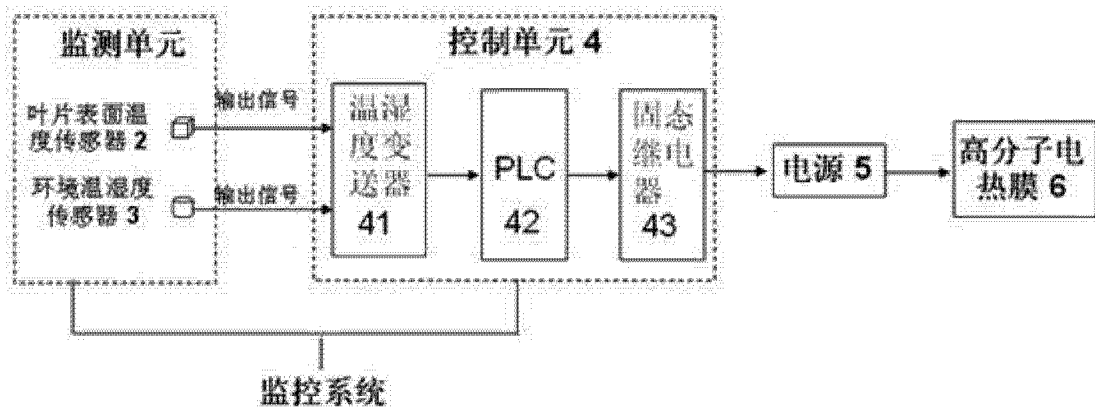


图 5

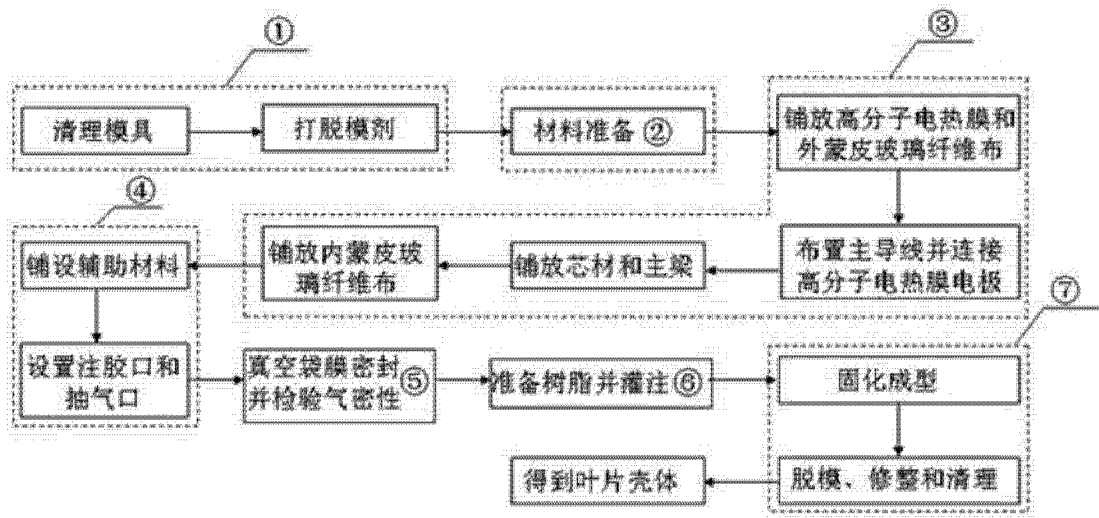


图 6