



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105257471 B

(45)授权公告日 2018.03.23

(21)申请号 201510696725.3

(22)申请日 2015.10.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105257471 A

(43)申请公布日 2016.01.20

(73)专利权人 北京金风科创风电设备有限公司
地址 100176 北京市大兴区北京亦庄经济
技术开发区博兴一路8号

(72)发明人 李健 欧发顺

(74)专利代理机构 北京天达知识产权代理事务
所(普通合伙) 11386
代理人 左萌 白海燕

(51)Int.Cl.
F03D 7/00(2006.01)

(56)对比文件

WO 2011150931 A2,2011.12.08,
CN 102011692 A,2011.04.13,
CN 104675621 A,2015.06.03,

审查员 陈翔

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

风力发电机组桨距角控制方法、装置及系统

(57)摘要

本发明提供一种风力发电机组桨距角的控制方法、装置及系统,该方法包括:获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;当所述输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角。本发明技术方案在不增加机组疲劳载荷和极限载荷的条件下,提高了风电发电机组在生命周期的发电效率。

获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率 310

当该输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角 320

1. 一种风力发电机组桨距角的控制方法,其特征在于,包括:

获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;

当所述输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角;确定叶片的桨距角的步骤包括:

对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者之和进行取整处理,以确定叶片的桨距角;或者,

对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者中任意两个值进行取整处理后与第三个值求和,以确定叶片的桨距角。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,叶片失速异常时风向角的最大参考值或者叶片失速正常时风向角的最大参考值的获得方式包括:

在第一时间段内采集多个风向角的值和风速信息;

根据所述多个风向角的值和所述风速信息,生成风速-风向标准差散点图;

在风速-风向标准差散点图中,生成一条垂直于风向标准差轴的参考直线,使得预设范围内的数据点位于所述参考直线以下,并根据所述参考直线对应的风向标准差值确定风向角最大参考值。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率的步骤之后还包括:

比较担保功率与输出功率的差值与预设值,根据比较结果确定输出功率是否出现异常;或者,

根据所述输出功率与风速的对应关系,确定输出功率是否出现异常。

4. 根据权利要求1-3之一所述的方法,其特征在于,所述取整处理包括:四舍五入取整处理、向上取整处理或者向下取整处理。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,基于以下公式确定叶片的桨距角:

$$b = \text{round}(a + a') + b_0,$$

其中,round为四舍五入取整函数, b_0 是发电机组初始最小桨距角, a 为叶片失速异常时风向角的最大参考值, a' 为失速正常时风向角的最大参考值。

6. 一种风力发电机组桨距角的控制装置,其特征在于,包括:

获取模块,用于获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;

判断模块,用于判断所述输出功率是否出现异常;

处理模块,用于当所述输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角;

所述处理模块包括:

第一处理子模块,用于当所述输出功率出现异常时,对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者之和进行取整处理,以确定叶片的桨距角;或者,

第二处理子模块,用于当所述输出功率出现异常时,对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者中任意两个值进行取

整处理后与第三个值求和,以确定叶片的桨距角。

7. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,还包括:

采集模块,用于在第一时间段内采集多个风向角的值和风速信息;

绘图模块,用于根据所述多个风向角的值和所述风速信息,生成风速-风向标准差散点图;

确定模块,用于在风速-风向标准差散点图中,生成一条垂直于风向标准差轴的参考直线,使得预设范围内的数据点位于所述参考直线以下,并根据所述参考直线对应的风向标准差值确定风向角最大参考值,

所述确定模块与所述处理模块及所述风向角的最大参考值获取模块连接。

8. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述判断模块,具体包括:

第一判断子模块,用于当输出功率低于担保功率的值大于等于担保功率的5%时,判断为输出功率出现异常;或者,

第二判断子模块,用于周期性获取风力发电机组的输出功率和风速,根据得到的输出功率与风速的曲线,确定是否为输出功率出现异常。

9. 根据上述权利要求6-8任一项的装置,其特征在于,该装置设置在单台风力发电机组的主控制器中,或者设置于风电场的场控制器中。

10. 一种在风电场中的风力发电机组桨距角的控制系统,其特征在于,包括多个风力发电机组及场控制器,每一风力电发机组包括上报模块,用于上报风力发电机组的输出功率;所述场控制器中设置了根据上述权利要求6-8中任一项的装置,所述场控制器还包括下发模块,用于将所述确定后的桨距角下发至相应风力发电机组以进行实时桨距角调整。

风力发电机组桨距角控制方法、装置及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及风电技术领域,特别涉及风力发电机桨距角控制方法、装置及系统。

背景技术

[0002] 现代大型风力发电机在满发前(即输出功率达到额定功率之前),存在两段运行区,其一,发电机尚未达到额定转速,此区称之为最大风能捕获段;其二,发电机达到额定转速,但输出功率尚未达到额定功率,此区称之为过渡段,一般情况下,发电机通过增大电磁扭矩提高功率输出。在现场实际工况条件下,叶片在过渡段容易发生失速现象,导致叶片的气动性能降低,减少了叶片对风能的吸收利用,叶片出力减小,功率输出降低,直接影响机组在该风速段的功率曲线。

[0003] 一般情况下,风力发电机在过渡段桨距角保持不变,通过调整电磁扭矩从而调整发电机转速,使机组保证比较大的尖速比,确保机组尽可能多的吸收风能。实际情况下,当风机运行在一些极端工况下,如高温,高海拔条件下,叶片在过渡段会存在失速情况:叶片升力减小,阻力增大,叶片的风能吸收量变小,在功率输出表现为过渡段功率曲线偏离担保功率曲线,出现塌陷现象。

[0004] 针对叶片失速,传统的解决办法是提高机组的额定转速,和/或提高叶尖速比,和/或提高风能利用系数 C_p ,从而提高功率输出。然而,发电机的额定转速越高,机组在正常运行时承受的疲劳载荷和极限载荷越大,可能会影响机组在整个生命周期的安全运行。因此,在确保机组安全运行的前提条件下,发电机的额定转速提升的空间非常有限。

发明内容

[0005] 鉴于上述的分析,本发明旨在提供一种风力发电机组桨距角的控制方法、装置及系统,用以解决现有技术中风力发电机在叶片失速情况下通过提高额定转速,叶尖速比等方式调整输出功率带来的对机组安全运行能力的不利影响。

[0006] 一方面,提供一种风力发电机组桨距角的控制方法,其包括:

[0007] 获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;

[0008] 当所述输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角。

[0009] 另一方面,还提供一种风力发电机组桨距角的控制装置,其包括:

[0010] 获取模块,用于获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;

[0011] 判断模块,用于判断所述输出功率是否出现异常;

[0012] 处理模块,用于当所述输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角。

[0013] 又一方面,还提供一种在风电场中的风力发电机组桨距角的控制系统,其包括多个风力发电机组及场控制器,每一风力电发机组包括上报模块,用于上报风力发电机组的

输出功率;所述场控制器中设置了根据上述装置,所述场控制器还包括下发模块,用于将所述确定后的桨距角下发至相应风力发电机组以进行实时桨距角调整。

[0014] 上述技术方案的有益技术效果如下:

[0015] 上述技术方案通过获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;当该输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角。该方案通过数据挖掘,对比相同机组在不同工况下叶片失速和正常运行时各运行参数,提取出机组正常运行的特征值,并将其作为控制判断条件和阈值,动态调整叶片桨距角,从而消除叶片失速现象,提高叶片吸收风能能力,改善机组的功率曲线。上述技术方案在不增加机组疲劳载荷和极限载荷的条件下,提高了机组在生命周期的发电效率。

附图说明

[0016] 附图仅用于示出具体实施例的目的,而并不认为是对本发明的限制,在整个附图中,相同的参考符号表示相同的部件。

[0017] 图1是本发明的实施例的风力发电机组叶片翼型攻角示意图;

[0018] 图2是本发明的实施例的叶片气动性能与攻角的关系图;

[0019] 图3为本发明的实施例一的风力发电机组桨距角的控制方法流程图;

[0020] 图4为本发明的实施例二的风向角的最大参考值的获取流程图;

[0021] 图5是本发明的实施例二的失速异常、失速正常时风速-风向标准差散点图;

[0022] 图6为本发明的实施例三的风力发电机组实际输出功率对比图;

[0023] 图7为本发明的实施例四的风力发电机组桨距角的控制装置的功能框图;

[0024] 图8为本发明的实施例五的风力发电机组桨距角的控制装置的功能框图;

[0025] 图9为本发明的实施例六的风电场中的风力发电机组桨距角的控制系统架构图。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图来具体描述本发明的优选实施例,其中,附图构成本申请一部分,并与本发明的实施例一起用于阐释本发明的原理。

[0027] 一般来说,机组在满发前,叶片桨距角(即最小桨距角,也叫最优桨距角)是固定的。本发明通过对机组实际运行瞬态数据进行记录,对比相同机组在不同工况下失速和正常运行时各运行参数,通过提取机组运行特征值,生成控制信号,动态调整叶片桨距角,从而消除叶片失速现象,提高叶片吸收风能能力,改善机组的功率曲线。

[0028] 本发明的目的是在没有额外提高集中载荷的情况下,改善机组功率曲线,提高机组发电量。在本申请中,风力发电机在叶片失速的情况下,根据现场风况,自动调整叶片桨距角,提高机组的功率输出,优化功率曲线。

[0029] 在描述各实施例之前,首选描述叶片的攻角及其与叶片气动性能之间的关系。图1是本发明实施例提供的风力发电机组叶片翼型攻角示意图。图1中,附图标记7是叶片翼型横切面的弦线,附图标记8为叶轮旋转平面,附图标记9是作用在叶片的相对风速方向。风力发电机组的叶片入流角 Φ 是叶片的相对风速方向9与叶轮旋转平面8之间的夹角。 $\Phi = \alpha + \beta$;其中, α 是攻角, β 是最小桨距角。一般来说,机组在满发前,叶片最小桨距角 β (也叫最优桨距

角)是固定的。在同一风场中,由于风机的排布位置各异,在同一时刻,各风机机位点处的风速、湍流强度及叶片入流角存在一定程度的差异。 a 代表的是叶片失速异常时对应的叶片攻角最大参考值, b 代表的是需要的调整的叶片桨距角。

[0030] 图2是本发明实施例提供的叶片气动性能与攻角的关系图。图2纵坐标中 C_l 是叶片的升力系数, C_d 是叶片的阻力系数, C_l/C_d 表征的是叶片的气动性能。 C_l/C_d 比值越大,表明叶片的气动性能越好,相同风速条件下叶片吸收的风能越多;反之,叶片气动性能越差。如图2所示, C_l/C_d 值与叶片攻角 α 密切相关,在一定范围内,攻角 α 越大,叶片气动性能越好,当攻角 α 超过某一范围(例如 $10\sim 15$ 度)后,叶片的气动性能急剧下降,出现叶片失速。机组叶片正常运行时,在叶根部一定范围内存在失速情况,并不影响风机正常功率输出,该种工况称之为叶片失速正常;如果上述失速区域向叶尖方向扩大,导致叶片的升力急剧下降,阻力上升,机组功率输出降低,该种工况称之为叶片失速异常。

[0031] 实施例一

[0032] 图3为本发明的实施例一的风力发电机组桨距角的控制方法流程图,如图3所示,其包括如下步骤:

[0033] 步骤310:获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;

[0034] 步骤320:当该输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角。

[0035] 其中,判断输出功率是否异常的方法有多种,例如通过与预设的标准功率阈值进行比较,或者,将该过渡段的输出功率曲线与预设的输出功率曲线进行比较来确定,或者根据输出功率与风速之间的关系来判断。

[0036] 其中,叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值可以是预先根据经验数据设定的,或者是根据机器学习等数据挖掘方法获得的。

[0037] 该方法在当机组满发前的过渡段输出功率异常时,能自动调整叶片桨距解,以提高机组的功率输出,优化功率曲线。

[0038] 实施例二

[0039] 图4为本发明的实施例二的风向角的最大参考值的获取流程图。如图4所示,其包括如下步骤:

[0040] 步骤410:在第一时间段内采集多个风向角的值和风速信息;

[0041] 步骤420:根据多个风向角的值和所述风速信息,生成风速-风向标准差散点图;

[0042] 步骤430:在风速-风向标准差散点图中,生成一条垂直于风向标准差轴的参考直线,使得预设范围内的数据点位于所述参考直线以下,并根据所述参考直线对应的风向标准差值确定风向角最大参考值。

[0043] 以下举例进行说明:

[0044] 一般的叶片在机组运行的时候叶根部位都会存在一定区域的失速,但这是正常的,如果失速的范围扩大,则称之为失速异常,这样会导致功率输出降低。由于需要排除一些特殊工况下异常的点,选取 a 或者 a' 时,可确保90%的点在该范围内。

[0045] 在极端情况下(大风机组能满发),通过一天数据的数据挖掘分析可计算出 a 及 a' ,在一般情况下,需要1个月数据,前提是机组在这段时间能满发。 a 、 a' 确定后,基本不需要更新,因为一个地方的风向从每年平均数据来看都是比较稳定的。

[0046] 图5是本发明的实施例二的失速异常、失速正常时风速-风向标准差散点图。即同一风场同一机组在不同时间段内叶片失速异常(圆圈)和叶片失速正常(星号)时风速-风向标准差散点图。请参阅图5,在风速-风向标准差散点图中,风向标准差轴画一条直线,使得60%-90%以上的点都在这条直线以下,这里以90%为例,这条直线对应的风向标准差值确定为风向角最大参考值。在图5中,这个风向标准差值是20,由于图5的纵轴是10倍放大的,再除以10,为2,即为叶片失速正常时风向角最大参考值 a' 。另外,在图5中可看出,大部分叶片失速异常的数据点分布于风向标准差12以下,因此可得出叶片失速异常时风向角最大参考值 a 为1.2。

[0047] 实施例三

[0048] 本实施例对图3中步骤320进行进一步细化描述,具体实施时,可采用如下方式:

[0049] 对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者之和进行取整处理,以确定叶片的桨距角;或者,

[0050] 对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者中任意两个值进行取整处理后与第三个值求和,以确定叶片的桨距角。

[0051] 具体地,上述取整处理可包括:四舍五入取整处理、向上取整处理或者向下取整处理。

[0052] 较佳地,基于以下公式确定叶片的桨距角: $b = \text{round}(a+a') + b_0$,其中,round为四舍五入取整函数, b_0 是发电机组初始最小桨距角, a 为叶片失速异常时风向角的最大值, a' 为叶片失速正常时风向角的最大参考值。

[0053] 以下举例说明:

[0054] 例1:

[0055] $b = \text{round}(a+a') + b_0$,round是四舍五入取整函数;预先确定: $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 1$ 度;调整后的桨距角为: $b = \text{round}(1.2+2) + 1 = 4$ 度。当初始桨距角为0.5度时, $b = 3.5$ 度。

[0056] 例2:

[0057] $b = \text{round}(a+a' + b_0)$;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 1$ 度时, $b = 4$ 度;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 0.5$ 度时, $b = 4$ 度。该式与例1中公式相比,结果相差不会很大,至多0.5度,在可接受范围内,因为变桨分辨率有0.2度。

[0058] 例3:

[0059] $b = \text{floor}(a+a') + b_0$;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 1$ 度时, $b = 4$ 度;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 0.5$ 度时, $b = 3.5$ 度。其中,floor是向下取整函数。

[0060] 例4:

[0061] $b = \text{ceil}(a+a' + b_0)$;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 1$ 度时, $b = 5$ 度;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 0.5$ 度时, $b = 4$ 度。其中,ceil是向上取整函数。

[0062] 例5:

[0063] $b = \text{floor}(a+a') + b_0 + 0.5$;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 1$ 度时, $b = 4.5$ 度;当 $a = 1.2$ 度, $a' = 2$ 度, $b_0 = 0.5$ 度时, $b = 4$ 度。通过该式可进一步修正误差。

[0064] 图6为本发明实施例提供的风力发电机组实际输出功率对比图。曲线12为采用本

发明方法之前的机组输出功率曲线,曲线11为担保功率曲线,曲线10为采用了本发明方法之后机组输出的功率曲线。可以看到,采用了本发明的方法后,机组输出的功率更加接近担保功率,基本上消除了满发前输出功率曲线的下陷。

[0065] 实施例四

[0066] 本发明的实施例四提供一种风力发电机组桨距角的控制装置。如图7所示,该装置700包括:

[0067] 获取模块710,用于获取风力发电机组在满发前的过渡段的输出功率;

[0068] 判断模块720,用于判断所述输出功率是否出现异常;

[0069] 处理模块730,用于当输出功率出现异常时,根据预先获得的叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角,确定叶片的桨距角。

[0070] 该控制装置在满发前的过渡段的输出功率出现异常时,可对桨距角进行调整,以在叶片的入流角保持不变的情况下,能够达到减小叶片攻角的目的,增大叶片升力,使叶片摆脱失速区。

[0071] 实施例五

[0072] 如图8所示,在本实施例中,风力发电机组桨距角的控制装置还可进一步包括:

[0073] 采集模块810,用于在第一时间段内采集多个风向角的值和风速信息;

[0074] 绘图模块820,用于根据多个风向角的值和所述风速信息,生成风速-风向标准差散点图;

[0075] 确定模块830,用于在风速-风向标准差散点图中,生成一条垂直于风向标准差轴的参考直线,使得预设范围内的数据点位于所述参考直线以下,并根据所述参考直线对应的风向标准差值确定风向角最大参考值。

[0076] 具体地,该判断模块720,具体可包括:

[0077] 第一判断子模块721,用于当输出功率低于担保功率的值大于等于担保功率的5%时,判断为输出功率出现异常;或者,

[0078] 第二判断子模块722,用于周期性获取风力发电机组的输出功率和风速,根据得到的输出功率与风速的曲线,确定是否为输出功率出现异常。

[0079] 具体地,该处理模块730可包括:

[0080] 第一处理子模块731,用于当上述输出功率出现异常时,对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者之和进行取整处理,以确定叶片的桨距角;或者,

[0081] 第二处理子模块732,用于当上述输出功率出现异常时,对叶片失速异常时风向角的最大参考值、叶片失速正常时风向角的最大参考值和初始最小桨距角三者中任意两个值进行取整处理后与第三个值求和,以确定叶片的桨距角。

[0082] 进一步地,该装置可设置在单台风力发电机组的主控制器中,或者设置于风电场的场控制器中。

[0083] 该装置的工作过程已在前述方法实施例中描述,故在此不再赘述。

[0084] 实施例六

[0085] 本实施例提供一种在风电场中的风力发电机组桨距角的控制系统,参阅图9,其包

括多个风力发电机组及场控制器90,每一风力发电机组包括上报模块,用于上报风力发电机组的输出功率;该场控制器中设置了上述任一项的控制装置,该场控制器还包括下发模块,用于将确定后的桨距角下发至相应风力发电机组以进行实时桨距角调整。

[0086] 图9是本发明实施例提供的风电场群控系统示意图。传统的风力发电机组控制系统,是由单一的控制装置实现风力发电机组的独立控制,每台风力发电机组的控制参数都有其对应的初始设定,机组安装调试完成后,一般不会再变动或根据特殊要求发生变更;而每台独立的风力发电机组其所在位置的大气环境条件、地理位置条件及个体性能等都存在实时的差异,控制参数不能完全适应这些条件的变化。通过风电场群控系统,拓扑结构见图1,对风场各台机组的环境参数、风资源参数以及机组的运行数据,实时或定时分别调整各台机组的控制参数及控制策略,实现对整个风场的发电出力及整机寿命的优化控制,使得风力发电机组在设计安全裕度内发电出力更优。

[0087] 以下描述该系统的工作过程:

[0088] 首先,对第一时间段 T_1 内风场各台风力发电机组的环境参数、风资源参数,例如风向角,风速,输出功率,以及湍流强度,进行采集并记录。 T_1 可以是大于24小时的任意时间,控制参数的精确度随着 T_1 的增加而增加,优选的, T_1 大于等于1个月。

[0089] 然后,根据采集到的参数,计算得到失速异常风向角最大参考值 a ,失速正常时风向角的最大参考值为 a' 。

[0090] 一般化分析,机组叶片失速异常情况下,风向标准差小于等于 S 度,风向角度变化范围为 $-S$ 度至 $+S$ 度。由于叶片失速异常,因此攻角变大,故可确定叶片此时实际风向角度为 $0 \sim -S$ 度范围内。类似的,叶片失速正常时,风向角度变化范围为 $-S'$ 度至 $+S'$ 度,此时叶片的攻角变小,故此时风向角度为 $0 \sim +S'$ 度范围内。

[0091] 然后,场控制器以一个时间段 T_2 为一周期,该时间段为任意时间段,优选为10分钟。在该周期内利用机组的瞬态数据,获得机组的功率曲线,并判断机组特别是在过渡段是否出现失速异常状态。当机组出现失速异常状态时,具体表现为在某一风速段功率曲线下垂,功率输出低于担保功率,功率曲线出现塌陷现象。优选的,当输出功率低于担保功率的值大于等于担保功率的5%时,为输出功率出现异常。

[0092] 最后,根据得到的 a, a' 的值和最小桨距角,确定调整后的桨距角 b ,将桨距角调整至 b 即可使得叶片摆脱失速区。具体而言,将桨距角调整至 b 度,在叶片的入流角保持不变的情况下,能够达到减小叶片攻角的目的,增大叶片升力,使叶片摆脱失速区。

[0093] 本发明对风电场中的每台机组分别进行实时监控,当出现失速异常时,通过对数据进行分析处理,获得在特定环境下每台机组的最佳桨距角 b ,使得机组能够迅速摆脱失速区,获得稳定的功率输出。

[0094] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

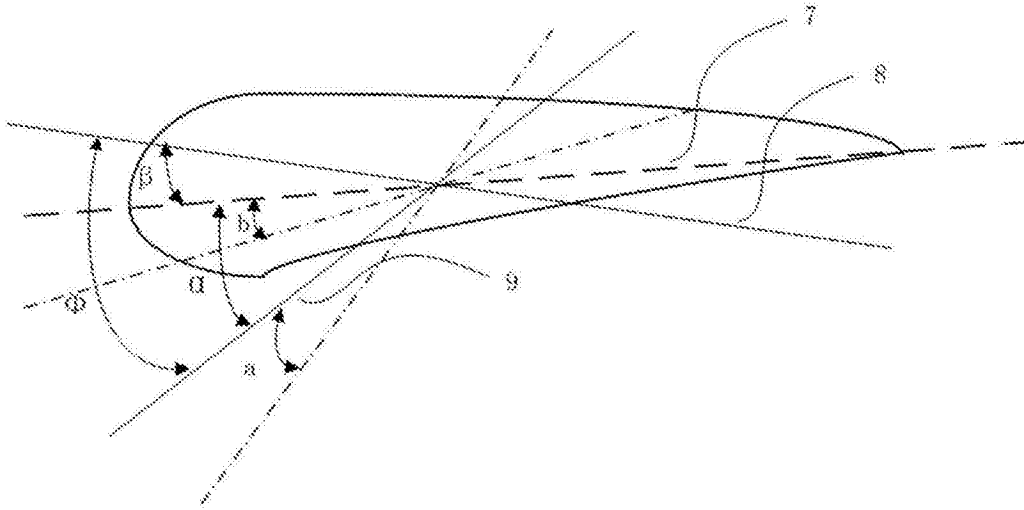


图1

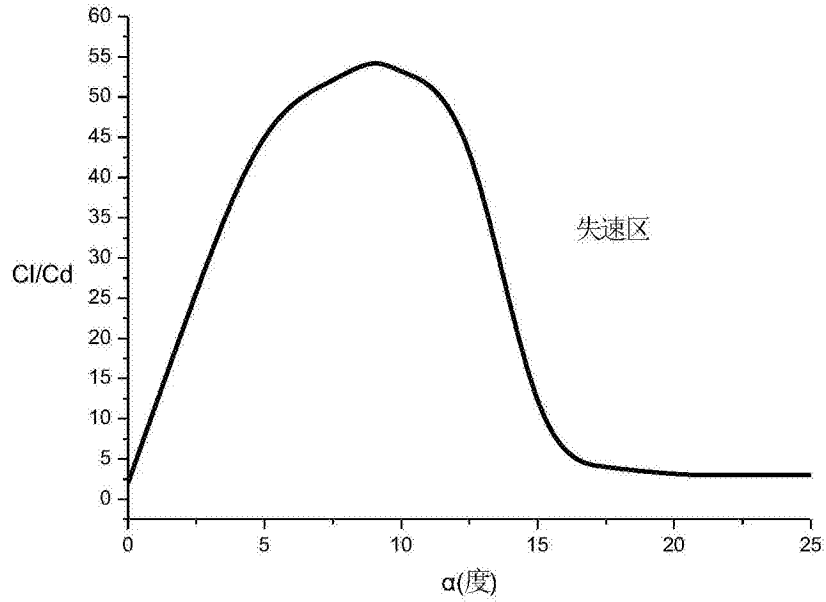


图2

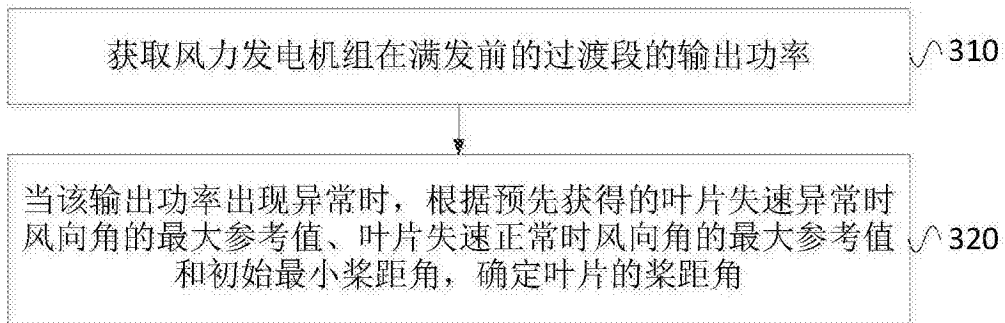


图3

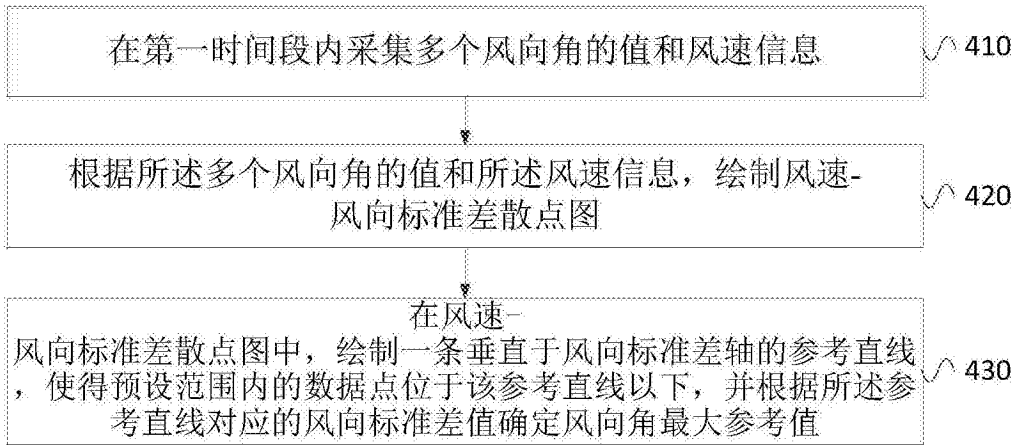


图4

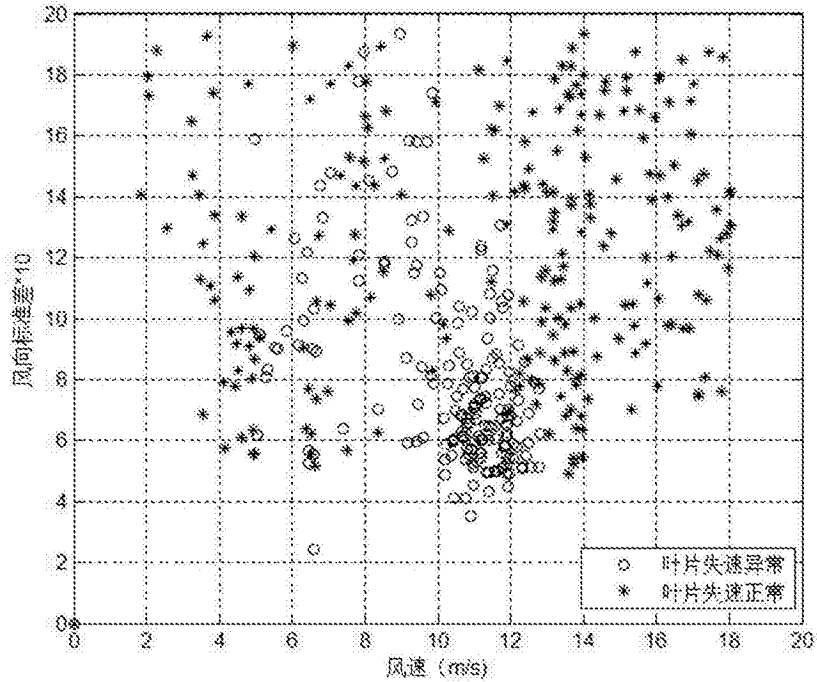


图5

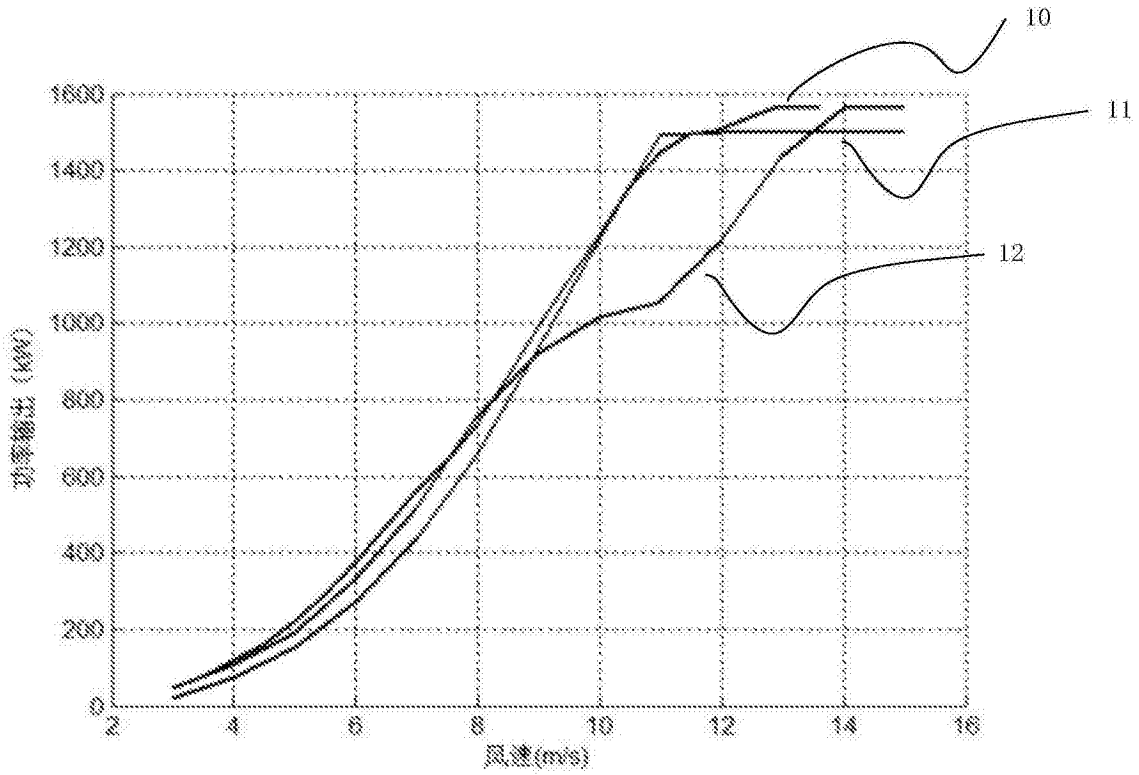


图6

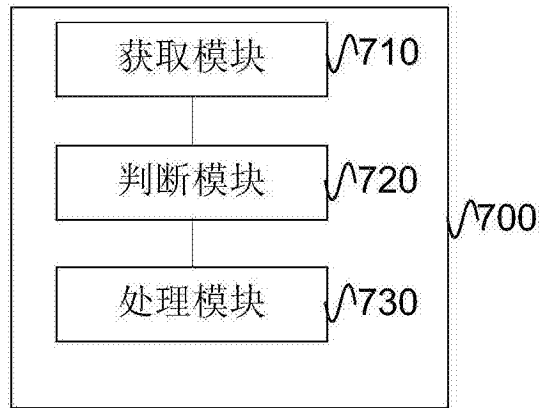


图7

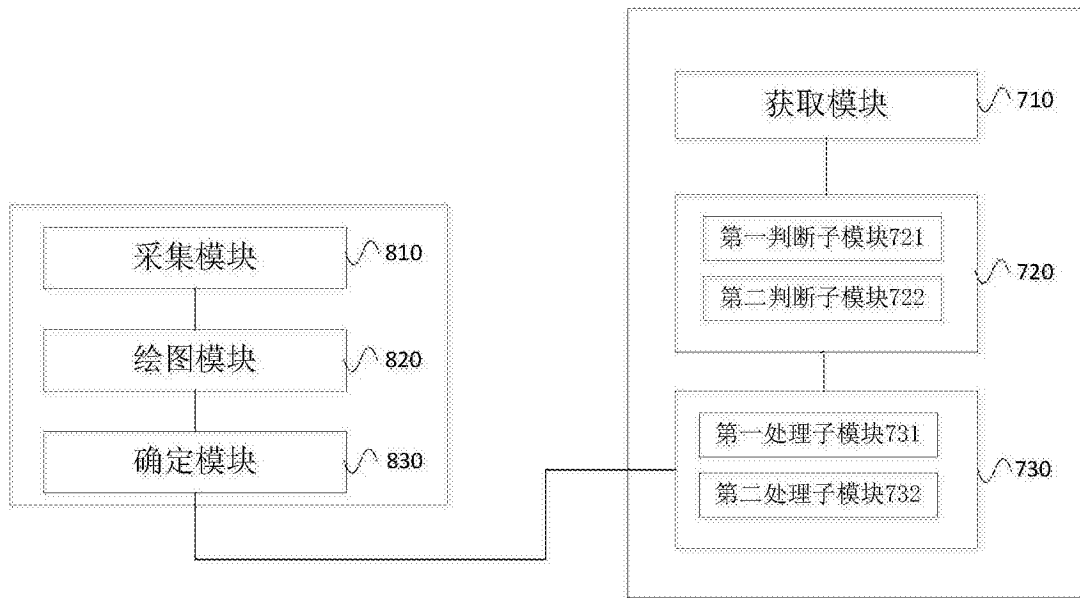


图8

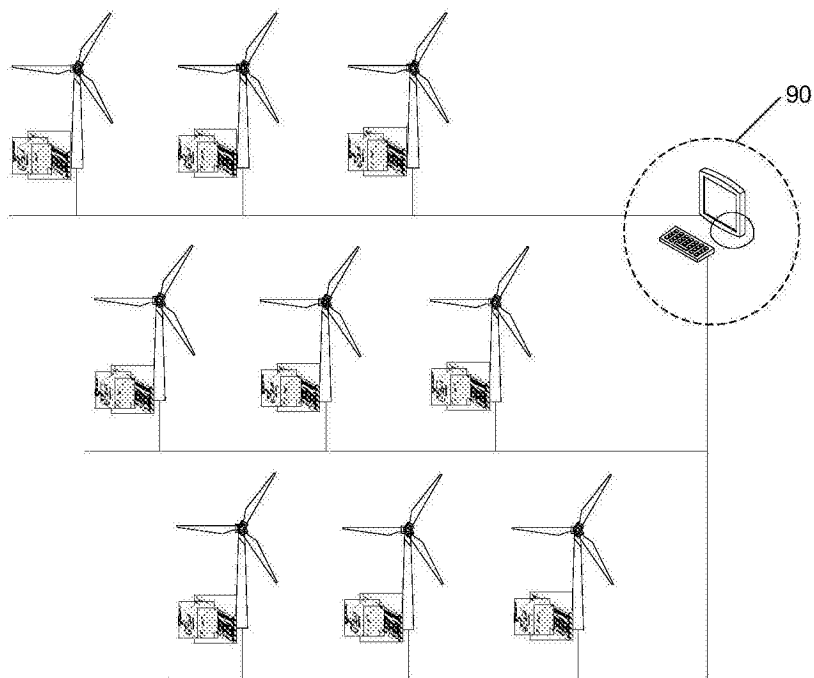


图9