



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106704102 B

(45)授权公告日 2019.10.15

(21)申请号 201611256077.0

(22)申请日 2016.12.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106704102 A

(43)申请公布日 2017.05.24

(73)专利权人 北京金风科创风电设备有限公司

地址 100176 北京市大兴区北京经济技术开发区康定街19号

(72)发明人 聂峰

(74)专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限公司 11258

代理人 彭琼

(51)Int.Cl.

F03D 7/02(2006.01)

F03D 1/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 102434388 A,2012.05.02,说明书第[0009]-[0022]段、[0027]-[0043]段,说明书附图1-3.

CN 105649876 A,2016.06.08,说明书第[0004]-[0046]段、[0062]-[0090]段,说明书附图1-4.

CN 102996331 A,2013.03.27,全文.

CN 103547898 A,2014.01.29,全文.

CN 102102629 A,2011.06.22,全文.

GB 2458400 B,2010.02.17,全文.

WO 2008135789 A2,2008.11.13,全文.

EP 2357356 A2,2011.08.17,全文.

审查员 邵长慧

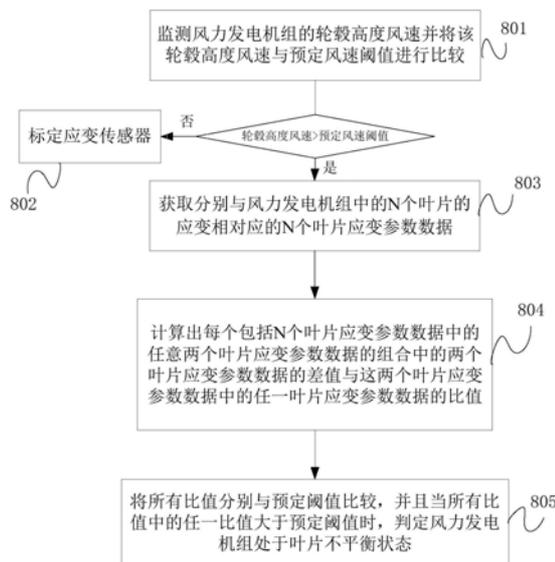
权利要求书4页 说明书12页 附图9页

(54)发明名称

用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法和系统

(57)摘要

本申请涉及用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法和系统。该方法包括监测风力发电机组的轮毂高度风速并与预定风速阈值比较;在轮毂高度风速小于等于预定风速阈值时,对被设置在叶片上的应变传感器进行标定;并且在轮毂高度风速大于预定风速阈值时:获取分别与N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,该N个叶片应变参数数据分别根据通过应变传感器采集到的N个叶片的应变数据被计算得到;计算每个包括N个叶片应变参数数据中的两个叶片应变参数数据的组合中的这两个叶片应变参数数据的差值与其中任一叶片应变参数数据的比值;将所有比值与预定阈值比较,并且当任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组处于叶片不平衡状态。



1. 一种用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法,其特征在于,所述风力发电机组包括三支叶片,每个叶片根部外圆区域的截面的 0° 、 90° 、 180° 和 270° 处各设置一个应变传感器,其中, 0° 为前缘位置, 180° 为后缘位置,所述应变传感器检测摆振与挥舞对应的应变,所述方法包括:

监测所述风力发电机组的轮毂高度风速并将所述轮毂高度风速与预定风速阈值进行比较;

在所述轮毂高度风速小于或等于所述预定风速阈值的情况下,风力发电机组的叶轮处于静止状态,三支叶片在挥舞和摆振方向的气动弯矩为零,叶片承受重力弯矩,对被设置在所述风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定;并且

在所述轮毂高度风速大于所述预定风速阈值的情况下,叶轮在风力作用下转动,叶片受到重力弯矩和气动力矩的叠加作用,执行以下步骤:

获取分别与所述风力发电机组中的N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,所述N个叶片应变参数数据分别根据通过所述应变传感器采集到的所述N个叶片的应变数据被计算得到,所述N个叶片应变参数数据表示叶片承受的气动弯矩,其中N为大于等于2的整数;

计算每个包括所述N个叶片应变参数数据中的两个叶片应变参数数据的组合中的所述两个叶片应变参数数据的差值与所述两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值,以得到 $C_N^2 = N \times (N-1) / 2$ 个比值;并且

将所述比值分别与预定阈值比较,并且当所述比值中的任一比值大于所述预定阈值时,判定所述风力发电机组处于叶片不平衡状态。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,

在计算所述比值的步骤中,所述两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据为所述两个叶片应变参数数据中的较小的一个叶片应变参数数据。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,还包括:

与获取所述N个叶片应变参数数据同步地获取所述风力发电机组的轮毂高度风速;并且

当所述比值中的任一比值大于所述预定阈值时,判定所述风力发电机组在所述轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,

获取所述轮毂高度风速的步骤包括在预定时段内的K个时间点处获取K个轮毂高度风速,其中K为大于等于1的整数,并且将所述K个轮毂高度风速中的每个轮毂高度风速归类在与其对应的预定的轮毂高度风速区间内;

获取所述N个叶片应变参数数据的步骤包括针对所述N个叶片中的每个叶片,在所述预定时段内的所述K个时间点处获取K个叶片应变参数数据,并且针对所述预定的轮毂高度风速区间,计算与被归类在所述预定的轮毂高度风速区间内的所有轮毂高度风速同步被获取的所述叶片的叶片应变参数数据的平均值,作为与所述预定的轮毂高度风速区间相对应的所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到与所述预定的轮毂高度风速区间相对应的所述N个叶片应变参数数据;并且

当所述比值中的任一比值大于所述预定阈值时,判定所述风力发电机组在所述预定的

轮毂高度风速区间内处于叶片不平衡状态。

5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,

获取所述轮毂高度风速的步骤包括在预定时段中的M个时间点处获取所述风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算所述M个轮毂高度风速的平均值作为所述轮毂高度风速;并且

获取所述N个叶片应变参数数据的步骤包括针对所述N个叶片中的每个叶片,在所述预定时段内的所述M个时间点处获取与所述叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算所述M个叶片应变参数数据的平均值作为所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到所述N个叶片应变参数数据。

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,

获取所述轮毂高度风速的步骤包括在预定时段中的K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处获取与所述风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算所述M个轮毂高度风速的平均值作为与所述预定子时段相对应的轮毂高度风速,从而得到与所述K个预定子时段相对应的K个轮毂高度风速;并且

获取所述N个叶片应变参数数据的步骤包括针对所述N个叶片中的每个叶片,在所述K个预定子时段中的每个预定子时段内的所述M个时间点处获取与所述叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算所述M个叶片应变参数数据的平均值作为与所述预定子时段相对应的所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到与所述K个预定子时段相对应的所述叶片的K个叶片应变参数数据。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述叶片应变参数数据包括叶片的弯矩数据。

8. 一种用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的系统,其特征在於,所述风力发电机组包括三支叶片,每个叶片根部外圆区域的截面的 0° 、 90° 、 180° 和 270° 处各设置一个应变传感器,其中, 0° 为前缘位置, 180° 为后缘位置,所述应变传感器检测摆振与挥舞对应的应变,所述系统包括:

应变传感器标定装置,用于监测所述风力发电机组的轮毂高度风速,并且在所述轮毂高度风速小于或等于预定风速阈值的情况下,风力发电机组的叶轮处于静止状态,三支叶片在挥舞和摆振方向的气动弯矩为零,叶片承受重力弯矩,对被设置在所述风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定;

叶片应变参数数据获取装置,用于在所述轮毂高度风速大于预定风速阈值的情况下,在叶轮在风力作用下转动,叶片受到重力弯矩和气动力矩的叠加作用时,获取分别与所述风力发电机组中的N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,所述N个叶片应变参数数据分别根据通过被设置在所述N个叶片上的应变传感器采集到的所述N个叶片的应变数据被计算得到,所述N个叶片应变参数数据表示叶片承受的气动弯矩,其中N为大于等于2的整数;

叶片应变参数数据比对装置,用于计算每个包括所述N个叶片应变参数数据中的两个叶片应变参数数据的组合中的所述两个叶片应变参数数据的差值与所述两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值,以得到 $C_N^2 = N \times (N - 1) / 2$ 个比值;以及

叶片平衡状况确定装置,用于将所述比值分别与预定阈值比较,并且当所述比值中的

任一比值大于所述预定阈值时,判定所述风力发电机组处于叶片不平衡状态。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,

在所述叶片应变参数数据比对装置中,所述两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据为所述两个叶片应变参数数据中的较小的一个叶片应变参数数据。

10. 根据权利要求8或9所述的系统,其特征在于,还包括:

轮毂高度风速获取装置,用于与获取所述N个叶片应变参数数据同步地获取所述风力发电机组的轮毂高度风速,并将所述轮毂高度风速传输给所述叶片平衡状况确定装置,并且

在所述叶片平衡状况确定装置中,当所述比值中的任一比值大于所述预定阈值时,所述叶片平衡状况确定装置判定所述风力发电机组在所述轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

11. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,

所述轮毂高度风速获取装置在预定时段内的K个时间点处获取K个轮毂高度风速,其中K为大于等于1的整数,并且将所述K个轮毂高度风速中的每个轮毂高度风速归类在与其对应的预定的轮毂高度风速区间内;

所述叶片应变参数数据获取装置针对所述N个叶片中的每个叶片,在所述预定时段内的所述K个时间点处获取K个叶片应变参数数据,并且针对所述预定的轮毂高度风速区间,计算与被归类在所述预定的轮毂高度风速区间内的所有轮毂高度风速同步被获取的所述叶片的叶片应变参数数据的平均值,作为与所述预定的轮毂高度风速区间相对应的所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到与所述预定的轮毂高度风速区间相对应的所述N个叶片应变参数数据;并且

在所述叶片平衡状况确定装置中,当所述比值中的任一比值大于所述预定阈值时,所述叶片平衡状况确定装置判定所述风力发电机组在所述预定的轮毂高度风速区间内处于叶片不平衡状态。

12. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,

所述轮毂高度风速获取装置在预定时段中的M个时间点处获取所述风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算所述M个轮毂高度风速的平均值作为所述轮毂高度风速;并且

所述叶片应变参数数据获取装置针对所述N个叶片中的每个叶片,在所述预定时段内的所述M个时间点处获取与所述叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算所述M个叶片应变参数数据的平均值作为所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到所述N个叶片应变参数数据。

13. 根据权利要求11所述的系统,其特征在于,

所述轮毂高度风速获取装置在预定时段中的K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处获取所述风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算所述M个轮毂高度风速的平均值作为与所述预定子时段相对应的轮毂高度风速,从而得到与所述K个预定子时段相对应的K个轮毂高度风速;并且

所述叶片应变参数数据获取装置针对所述N个叶片中的每个叶片,在所述K个预定子时段中的每个预定子时段内的所述M个时间点处获取与所述叶片相对应的M个叶片应变参数

数据,并且计算所述M个叶片应变参数数据的平均值作为与所述预定子时段相对应的所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到与所述K个预定子时段相对应的所述叶片的K个叶片应变参数数据。

14.根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述叶片应变参数数据包括叶片的弯矩数据。

用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电领域,尤其涉及用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法和系统。

背景技术

[0002] 风力发电机是将风能转换成电能的设备。风力推动风力发电机的叶片,使风力发电机的叶片转动。叶片作为风力发电机捕捉风能的关键部件,其性能直接影响风力发电机的整机性能和发电质量。由于叶片运输、吊装和长期暴露于恶劣的气候环境下,易受到狂风、闪电、冰雪等恶劣天气的影响。而且,叶片长期工作在负荷大范围波动的条件下,容易出现裂纹、破损、覆冰、螺栓松动等各种故障。叶片出现裂纹、破损、覆冰、螺栓松动等故障往往表现为叶片的不平衡。

[0003] 叶片的不平衡对风力发电机组的安全运行有很大的影响,例如叶片不平衡不仅影响机组的发电效率,同时不平衡会导致机组振动,主轴承、偏航系统的损坏或者倒塔等严重事故。

发明内容

[0004] 本发明的实施例提供了一种用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法,包括:获取分别与风力发电机组中的N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,该N个叶片应变参数数据分别根据N个叶片的应变数据被计算得到,其中N为大于等于2的整数;计算每个包括N个叶片应变参数数据中的两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值,以得到 $C_N^2 = N \times (N - 1) / 2$ 个比值;并且将所得到的比值分别与预定阈值比较,并且当所得到的比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组处于叶片不平衡状态。

[0005] 在一些实施例中,在计算比值的步骤中,两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据为这两个叶片应变参数数据中的较小的一个叶片应变参数数据。

[0006] 在一些实施例中,用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法还包括:与获取N个叶片应变参数数据同步地获取风力发电机组的轮毂高度风速;并且当在计算比值的步骤中所得到的比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组在与轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

[0007] 在一些实施例中,获取轮毂高度风速的步骤包括在预定时段内的K个时间点处获取K个轮毂高度风速,其中K为大于等于1的整数,并且将K个轮毂高度风速中的每个轮毂高度风速归类在与其对应的预定的轮毂高度风速区间内;获取N个叶片应变参数数据的步骤包括针对N个叶片中的每个叶片,在预定时段内的K个时间点处获取K个叶片应变参数数据,并且针对预定的轮毂高度风速区间,计算与被归类在预定的轮毂高度风速区间内的所有轮毂高度风速同步被获取的该叶片的叶片应变参数数据的平均值,作为与预定的轮毂高度风速区间相对应的该叶片的叶片应变参数数据,从而得到与预定的轮毂高度风速区间相对应

的N个叶片应变参数数据;并且当在计算比值的步骤中所得到的比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组在预定的轮毂高度风速区间处于叶片不平衡状态。

[0008] 在一些实施例中,获取轮毂高度风速的步骤包括在预定时段中的M个时间点处获取风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算M个轮毂高度风速的平均值作为轮毂高度风速;并且获取N个叶片应变参数数据的步骤包括针对N个叶片中的每个叶片,在预定时段内的M个时间点处获取与该叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算M个叶片应变参数数据的平均值作为该叶片的叶片应变参数数据,从而得到N个叶片应变参数数据。

[0009] 在一些实施例中,获取轮毂高度风速的步骤包括在预定时段中的K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处获取风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算M个轮毂高度风速的平均值作为与预定子时段相对应的轮毂高度风速,从而得到与K个预定子时段相对应的K个轮毂高度风速;并且获取N个叶片应变参数数据的步骤包括针对N个叶片中的每个叶片,在K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处获取与该叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算M个叶片应变参数数据的平均值作为与预定子时段相对应的该叶片的叶片应变参数数据,从而得到与K个预定子时段相对应的该叶片的K个叶片应变参数数据。

[0010] 在一些实施例中,叶片应变参数数据包括叶片的弯矩数据。

[0011] 根据本发明的实施例,还提供了一种用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的系统,包括:叶片应变参数数据获取装置,用于获取分别与风力发电机组中的N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,该N个叶片应变参数数据分别根据N个叶片的应变数据被计算得到,其中N为大于等于2的整数;叶片应变参数数据比对装置,用于计算每个包括N个叶片应变参数数据中的两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值,以得到 $C_N^2 = N \times (N - 1) / 2$ 个比值;以及叶片平衡状况确定装置,用于将所得到的比值分别与预定阈值比较,并且当所得到的比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组处于叶片不平衡状态。

[0012] 在一些实施例中,在叶片应变参数数据比对装置中,两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据为这两个叶片应变参数数据中的较小的一个叶片应变参数数据。

[0013] 在一些实施例中,用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的系统还包括:轮毂高度风速获取装置,用于与获取N个叶片应变参数数据同步地获取风力发电机组的轮毂高度风速,并将轮毂高度风速传输给叶片平衡状况确定装置,并且在叶片平衡状况确定装置中,当所得到的比值中的任一比值大于预定阈值时,叶片平衡状况确定装置判定风力发电机组在该轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

[0014] 在一些实施例中,轮毂高度风速获取装置在预定时段内的K个时间点处获取K个轮毂高度风速,其中K为大于等于1的整数,并且将K个轮毂高度风速中的每个轮毂高度风速归类在与其对应的预定的轮毂高度风速区间内;叶片应变参数数据获取装置针对N个叶片中的每个叶片,在预定时段内的K个时间点处获取K个叶片应变参数数据,并且针对预定的轮毂高度风速区间,计算与被归类在预定的轮毂高度风速区间内的所有轮毂高度风速同步被获取的该叶片的叶片应变参数数据的平均值,作为与预定的轮毂高度风速区间相对应的该叶片的叶片应变参数数据,从而得到与预定的轮毂高度风速区间相对应的N个叶片应变参

数数据;并且在叶片平衡状况确定装置中,当所得到的比值中的任一比值大于预定阈值时,叶片平衡状况确定装置判定风力发电机组在预定的轮毂高度风速区间处于叶片不平衡状态。

[0015] 在一些实施例中,轮毂高度风速获取装置在预定时段中的M个时间点处获取风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算M个轮毂高度风速的平均值作为轮毂高度风速;并且叶片应变参数数据获取装置针对N个叶片中的每个叶片,在预定时段内的M个时间点处获取与该叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算M个叶片应变参数数据的平均值作为该叶片的叶片应变参数数据,从而得到N个叶片应变参数数据。

[0016] 在一些实施例中,轮毂高度风速获取装置在预定时段中的K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处获取风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算M个轮毂高度风速的平均值作为与预定子时段相对应的轮毂高度风速,从而得到与K个预定子时段相对应的K个轮毂高度风速;并且叶片应变参数数据获取装置针对N个叶片中的每个叶片,在K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处获取与该叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算M个叶片应变参数数据的平均值作为与预定子时段相对应的该叶片的叶片应变参数数据,从而得到与K个预定子时段相对应的该叶片的K个叶片应变参数数据。

[0017] 在一些实施例中,叶片应变参数数据包括叶片的弯矩数据。

[0018] 本发明的实施例提供了一种用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的方法和系统。通过对风力发电机组的叶片平衡状况进行确定,工作人员可以根据风力发电机组的叶片平衡状况确定结果,做出应对叶片不平衡状态的相应措施。此外,通过对风力发电机组在不同工作环境状况下的叶片平衡状况进行确定,工作人员可以结合风力发电机组所处的特定工作环境状况做出相应的措施以减少叶片不平衡对风力发电机组造成的损害。

附图说明

[0019] 从下面结合附图对本发明的具体实施方式的描述中可以更好地理解本发明其中,相同或相似的附图标记表示相同或相似的特征。

[0020] 图1示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的示例性系统;

[0021] 图2示出了根据本发明的实施例的风力发电机组中的叶片上的示例性应变传感器设置;

[0022] 图3是根据本发明的实施例的风力发电机组中的设置有应变传感器的叶片根部的横截面示意图;

[0023] 图4示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性系统;

[0024] 图5示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性系统;

[0025] 图6示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性系统;

[0026] 图7示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的示例

性统计参数表；

[0027] 图8是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的示例性方法的流程图；

[0028] 图9是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图；

[0029] 图10是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图；

[0030] 图11是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图；并且

[0031] 图12是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图。

[0032] 附图标记说明：

[0033] 101、401、501、601-风力发电机组；201、202、203-叶片；204-应变传感器；102、402、502、602-叶片应变参数数据获取装置；103、403、503、603-叶片应变参数数据比对装置；104、404、504、604-叶片平衡状况确定装置；405、505、605-轮毂高度风速获取装置；105、406、506、606-应变传感器标定装置。

具体实施方式

[0034] 下面将详细描述本发明的各个方面的特征和示例性实施例。在下面的详细描述中，提出了许多具体细节，以便提供对本发明的全面理解。但是，对于本领域技术人员来说很明显的是，本发明可以在不需要这些具体细节中的一些细节的情况下实施。下面对实施例的描述仅仅是为了通过示出本发明的示例来提供对本发明的更好的理解。本发明决不限于下面所提出的任何具体配置和算法，而是在不脱离本发明的精神的前提下覆盖了元素、部件和算法的任何修改、替换和改进。在附图和下面的描述中，没有示出公知的结构和技術，以便避免对本发明造成不必要的模糊。

[0035] 本发明的实施例提供一种用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的系统。该系统可以监测风力发电机组是否处于叶片不平衡状态。当出现叶片不平衡现象时，可以发出警报，使得工作人员能够及时作出相应的措施，避免风力发电机发生更大的故障。

[0036] 图1示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组101的叶片平衡状况的示例性系统100。如图1所示，该示例性系统包括叶片应变参数数据获取装置102、叶片应变参数数据比对装置103、叶片平衡状况确定装置104和应变传感器标定装置105。叶片应变参数数据获取装置102可以获取与风力发电机组101的各个叶片的应变相关的参数数据，并将所获取的参数数据发送给叶片应变参数数据比对装置103。叶片应变参数数据比对装置103对所接收到的与各个叶片的应变相关的参数数据进行比对，并将比对结果发送给叶片平衡状况确定装置104。叶片平衡状况确定装置104根据所接收到的比对结果，判断风力发电机组是否处于叶片不平衡状态。应变传感器标定装置105可以监测风力发电机组101的轮毂高度风速，并且在风速小于或等于预定风速阈值的情况下，对被设置在所述风力发电机组中的各个叶片上的应变传感器进行标定。

[0037] 图2是示出了根据本发明的实施例的示例风力发电机组101中的叶片上的传感器

设置的示意图。图3是根据本发明的实施例的风力发电机组101中的设置有应变传感器的叶片根部的横截面示意图。下面结合图1、图2和图3详细描述根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组101的叶片平衡状况的示例性系统的操作过程。

[0038] 如图2所示,示例风力发电机组101包括三个叶片201、202和203,其中每个叶片的根部区域均设置有应变传感器204。在图2中,为了简化说明的目的,示例风力发电机组101仅包括三个叶片,但本发明不对风力发电机组中的叶片数目进行限制,根据本发明的实施例可以用于评估包括N个叶片的风力发电机组的叶片平衡状况,其中N为大于等于2的整数。如图2和图3中所示,例如,在每个叶片根部外圆区域的截面的 0° 、 90° 、 180° 和 270° 处各设置一个应变传感器204(0° 为前缘位置, 180° 为后缘位置)。该应变传感器204例如是光纤光栅应变传感器。光纤光栅应变传感器采集应变数据的工作原理:光纤光栅受到力的作用时,光纤光栅反射光的中心波长发生变化,可以利用输入光纤光栅应变传感器的光信号和光纤光栅应变传感器反射回的光信号之间的波长差异,判断应变的具体数值。风力发电机组有时会处于高湿、烟雾、或雷电的工作环境中,光纤光栅应变传感器由光纤制得,光纤的绝缘性能好、耐腐蚀、化学性能稳定,无需电源驱动,且光纤光栅应变传感器中传递的光信号不受电磁干扰的影响,在高湿、烟雾、雷电或电磁干扰的工作环境中,均可稳定使用。

[0039] 四个应变传感器204到叶片根部的距离相等,叶片根部外圆区域的截面与变桨轴承的端面平行,从而使应变传感器204能够检测到与摆振(edgewise)对应的应变和与挥舞(flappwise)对应的应变。应变传感器204将所采集到的应变数据传输给与应变传感器204相连接的叶片应变参数数据获取装置102。叶片应变参数数据获取装置102获取与各个叶片相关的应变数据,可以对应变数据进行适当地计算,从而获取便于确定风力发电机组的叶片平衡状况的与各个叶片的应变相关的参数数据(下文中被简称为应变参数数据)。应变参数数据例如可以是叶片的应力、弯矩、质量矩或振动量等。

[0040] 下面以叶片的弯矩为例来描述根据本发明的实施例的示例性系统100的操作过程。首先,应变传感器标定装置105可以监测风力发电机组的轮毂高度风速,并且在低风速、叶轮静止状态下对应变传感器204进行标定。具体来说,在风速小于等于预定风速阈值的情况下,风力发电机组的叶轮处于静止状态,可以近似认为此时叶片仅承受重力弯矩,并且叶轮在重力弯矩的作用下达达到平衡。由于各个叶片在制造过程中质量密度分布并非一致,每支叶片的重心位置、叶片重量都会呈现差异性。因此,可以在叶轮静止状态下根据被设置在三支叶片根部的应变传感器204测量得到的应变数据对应变传感器204进行标定。以光纤光栅应变传感器为例,其初始的反射波长为 λ_0 。在低风速、叶轮静止的状态下,安装在叶片根部的该光纤光栅传感器测量得到的反射波长为 λ'_0 。依次类推,分别获得12个光纤光栅传感器在低风速情况下的反射波长变化,并且标定对应于变化后的反射波长,三支叶片在挥舞和摆振方向的气动弯矩为零。

[0041] 在完成应变传感器204的标定之后,在风速大于预定风速阈值的情况下,叶轮在风力作用下进行转动。此时叶片受到的弯矩为重力矩和气动力矩的叠加作用。利用标定后的光纤光栅应变传感器采集到的应变数据计算得到的弯矩即为气动弯矩。然后,叶片应变参数数据获取装置102可以根据所接收到的每个叶片的应变数据、该叶片的出厂标定的叶片重心或叶片质量密度分布计算出该叶片的弯矩Y。叶片应变参数数据比对装置103可以计算风力发电机组101中的所有叶片中两两叶片的弯矩的差值与其中一个叶片的弯矩的比值,

作为比对结果输出给叶片平衡状况确定装置104。叶片平衡状况确定装置104可以将所接收到的比对结果与预定阈值进行比较,如果比对结果超过预定阈值,则可以判定出现了叶片不平衡现象。例如,叶片应变参数数据获取装置102可以根据所获取的各个叶片的应变数据计算出叶片201的弯矩Y1,叶片202的弯矩Y2和叶片203的弯矩Y3,并且将所计算出的叶片弯矩传输给叶片应变参数数据比对装置103。叶片应变参数数据比对装置103可以计算出三个叶片弯矩中的任意两个叶片弯矩的差值与这两个叶片弯矩中的任一叶片弯矩的比值,例如 $a1 = |Y1 - Y2| / Y2$ 、 $a2 = |Y2 - Y3| / Y3$ 和 $a3 = |Y3 - Y1| / Y1$,并且将这三个比值作为比对结果传输给叶片平衡状况确定装置104。或者,更优选地,叶片应变参数数据比对装置103可以计算出三个叶片弯矩中的任意两个叶片弯矩的差值与这两个叶片弯矩中的较小的一个叶片弯矩的比值,例如 $a1 = |Y1 - Y2| / \min(Y1, Y2)$ 、 $a2 = |Y2 - Y3| / \min(Y2, Y3)$ 和 $a3 = |Y3 - Y1| / \min(Y3, Y1)$,并且将这三个比值作为比对结果传输给叶片平衡状况确定装置104。然后,叶片平衡状况确定装置104可以将a1、a2和a3分别与预定阈值进行比较,如果a1、a2和a3中的任一个大于预定阈值,则可以判定风力发电机组101处于叶片不平衡状态。

[0042] 当风力发电机组101包括N个叶片时,叶片应变参数数据获取装置102可以计算出N个叶片弯矩,然后叶片应变参数数据比对装置103可以计算出每个包括N个叶片弯矩中的任意两个叶片弯矩的组合中的两个叶片弯矩的差值与这两个叶片弯矩中的任一叶片弯矩的比值,或者更优选地,叶片应变参数数据比对装置103可以计算出每个包括N个叶片弯矩中的任意两个叶片弯矩的组合中的两个叶片弯矩的差值与这两个叶片弯矩中的较小的一个叶片弯矩的比值。按照这种方式,叶片应变参数数据比对装置103可以得到 $C_N^2 = N \times (N - 1) / 2$ 个比值,并将这些比值作为比对结果传输给叶片平衡状况确定装置104。叶片平衡状况确定装置104可以将所接收到的所有比值分别与预定阈值进行比较,当任一个比值大于预定阈值时,可以判定风力发电机组101处于叶片不平衡状态。

[0043] 图1中所示的示例性系统100还可以包括报警装置。当叶片平衡状况确定装置104判定风力发电机组101处于叶片不平衡状态时,可以触发报警装置发出警报,以通知工作人员风力发电机组101处于叶片不平衡状态,便于工作人员及时做出相应的措施。

[0044] 如上所述,在图1中所示的示例性系统100中,通过监测风力发电机组中的叶片上的瞬时应变数据,可以确定风力发电机组的瞬时叶片平衡状况。一般情况下,上述瞬时状态确定可以满足确定要求,但是有些叶片不平衡状态是当风力发电机组处在特定的工作环境状况下时才会表现出来的,例如在某个特定的轮毂高度风速下才会表现出来。为了确定风力发电机组在特定的工作环境状况下的叶片平衡状况,本发明的实施例还提供了针对特定的工作环境状况的确定系统。

[0045] 图4示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组401的叶片平衡状况的另一示例性系统。如图4所示,该示例性系统包括叶片应变参数数据获取装置402、叶片应变参数数据比对装置403、叶片平衡状况确定装置404、轮毂高度风速获取装置405和应变传感器标定装置406。图4中所示的风力发电机组401、叶片应变参数数据获取装置402、叶片应变参数数据比对装置403和应变传感器标定装置406与图1中所示的风力发电机组101、叶片应变参数数据获取装置102、叶片应变参数数据比对装置103和应变传感器标定装置105的功能相同,因此这里不再进行详细描述。与图1所示的示例性系统不同的是,在图4所示的示例性系统中增加了轮毂高度风速获取装置405,该装置与叶片应变参数数据获取装置402同步

地获取风力发电机组401的轮毂高度风速,并将该轮毂高度风速传输给叶片平衡状况确定装置404。此外,叶片平衡状况确定装置404将叶片应变参数数据比对装置403传输来的比值与预定阈值比较,当任一比值大于预定阈值时,叶片平衡状况确定装置404判定风力发电机组401在所述轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

[0046] 图5示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组501的叶片平衡状况的另一示例性系统。如图5所示,该示例性系统包括叶片应变参数数据获取装置502、叶片应变参数数据比对装置503、叶片平衡状况确定装置504、轮毂高度风速获取装置505和应变传感器标定装置506。图5中所示的装置与图4中所示的装置的功能类似,不同之处在于图5中所示的示例性系统对轮毂高度风速和应变参数数据采用分仓统计确定的方式。由于叶片的气动弯矩随风速变化而瞬时变化,所以进行分仓处理。也就是在每个风速数值区间内,对三支叶片挥舞和摆振方向的弯矩进行比较,从而判断是否气动平衡。在该示例性系统中,轮毂高度风速范围被划分成预定数目的区间(下面简称为仓)。例如,针对一台切入轮毂高度风速为3m/s、切出轮毂高度风速为25m/s的风力发电机组,按照轮毂高度风速0.5m/s一个仓对所获取的不同风速仓内的叶片应变参数数据进行归类统计。轮毂高度风速获取装置505和叶片应变参数数据获取装置502在预定的时段内不断地同步获取轮毂高度风速和应变参数数据,例如在预定的时段内的K个时间点处同步获取K个轮毂高度风速和针对每个叶片的K个应变参数数据,其中K是大于等于1的整数。轮毂高度风速获取装置505将所获取的每个轮毂高度风速归类到与其相对应的预定的仓内。叶片应变参数数据获取装置502针对每个叶片,计算与被归类到预定的仓内的所有轮毂高度风速同步被获取的该叶片的应变参数数据的平均值作为与该预定的轮毂高度风速仓相对应的该叶片的应变参数数据,从而得到与预定的轮毂高度风速仓相对应的N个叶片应变参数数据。之后,叶片应变参数数据比对装置503按照与图1中所示的叶片应变参数数据比对装置103类似的方式对N个叶片应变参数数据进行比对,得到用于叶片平衡状况确定的比值。叶片平衡状况确定装置504将叶片应变参数数据比对装置503传输来的比值与预定阈值比较,当任一比值大于预定阈值时,叶片平衡状况确定装置504判定风力发电机组501在预定的轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

[0047] 图6示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组601的叶片平衡状况的另一示例性系统。如图6所示,该示例性系统包括叶片应变参数数据获取装置602、叶片应变参数数据比对装置603、叶片平衡状况确定装置604、轮毂高度风速获取装置605和应变传感器标定装置606。图6中所示的装置与图5中所示的装置的功能类似,不同之处在于图6中所示的示例性系统对轮毂高度风速和应变参数数据采用时间统计平均叠加分仓统计确定的方式。

[0048] 下面结合图7以风力发电机组的轮毂高度风速为例详细说明如图6所示的示例性系统如何对风力发电机组601在不同工作环境状况下的叶片平衡状况进行统计确定。图7示出了根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的示例性统计参数表。例如,针对一台切入轮毂高度风速为3m/s、切出轮毂高度风速为25m/s的风力发电机组,按照轮毂高度风速0.5m/s一个仓对所获取的不同风速仓内的叶片应变参数数据进行归类统计。叶片应变参数数据获取装置602在包括K个预定子时段(该预定子时段例如为10分钟)的预定时段内连续获取风力发电机组601中的三个叶片的应变数据,根据应变数据计算三个叶片的弯矩,其中K为大于等于1的整数。例如,针对每个叶片,叶片应变参数数据获取装置

602将每10分钟内的M个时间点处所获取的该叶片的弯矩值存储为一个数据包,计算每10分钟内的各个叶片的平均弯矩值 $Y_{1\#10min}$ 、 $Y_{2\#10min}$ 和 $Y_{3\#10min}$,并将所得到的平均弯矩值发送给叶片应变参数数据比对装置603,其中M为大于等于1的整数。轮毂高度风速获取装置605与叶片应变参数数据获取装置602同步地获取风力发电机组601工作时的轮毂高度风速数据,同样将每10分钟所获取的数据存储为一个数据包,计算每10分钟内的平均轮毂高度风速值 V_{10min} 。叶片应变参数数据获取装置602按照平均轮毂高度风速值 V_{10min} 所落入的风速仓区间,分别将同一子时段所获取的每个叶片的平均弯矩值 $Y_{1\#10min}$ 、 $Y_{2\#10min}$ 和 $Y_{3\#10min}$ 存储到与所述风速仓区间相对应的数据空间中,例如添加到如图7所示的示例性统计参数表中与所述风速仓区间相对应的叶片弯矩表格位置处。在预定时段后,例如在每个风速仓区间内至少有3组10分钟统计平均数据之后,叶片应变参数数据获取装置602针对每个叶片,计算如图7所示的参数表中所存储的与每个风速仓区间相对应的该叶片的弯矩统计平均值。然后,叶片应变参数数据比对装置603和叶片平衡状况确定装置604可以按照与图5所示的示例性系统类似的方式根据针对每个风速仓区间的每个叶片的弯矩统计平均值来确定风力发电机组在每个风速仓区间对应的工作环境状况下的叶片平衡状况。

[0049] 例如,针对轮毂高度风速仓存储有对应的3组10分钟数据,即3个第一叶片的弯矩数据 $Y_{1\#10min_1}$ 、 $Y_{1\#10min_2}$ 、 $Y_{1\#10min_3}$;3个第二叶片的弯矩数据 $Y_{2\#10min_1}$ 、 $Y_{2\#10min_2}$ 、 $Y_{2\#10min_3}$ 以及3个第三叶片的弯矩数据 $Y_{3\#10min_1}$ 、 $Y_{3\#10min_2}$ 、 $Y_{3\#10min_3}$ 。在这种示例情况下,叶片应变参数数据获取装置602对 $Y_{1\#10min_1}$ 、 $Y_{1\#10min_2}$ 、 $Y_{1\#10min_3}$ 求平均得到针对轮毂高度风速仓1的第一叶片的弯矩统计平均值 Y_1 ,对 $Y_{2\#10min_1}$ 、 $Y_{2\#10min_2}$ 、 $Y_{2\#10min_3}$ 求平均得到针对轮毂高度风速仓1的第二叶片的弯矩统计平均值 Y_2 ,并且对 $Y_{3\#10min_1}$ 、 $Y_{3\#10min_2}$ 、 $Y_{3\#10min_3}$ 求平均得到针对轮毂高度风速仓1的第三叶片的弯矩统计平均值 Y_3 。然后在叶片应变参数数据比对装置603中,可以计算出三个叶片弯矩统计平均值中的任意两个叶片弯矩统计平均值的差值与其中一个叶片弯矩统计平均值的比值 $a_1 = |Y_1 - Y_2| / Y_2$ 、 $a_2 = |Y_2 - Y_3| / Y_3$ 和 $a_3 = |Y_3 - Y_1| / Y_1$,并且将三个比值作为比对结果传输给叶片平衡状况确定装置604。或者,更优选地,叶片应变参数数据比对装置603可以计算出三个叶片弯矩中的任意两个叶片弯矩的差值与这两个叶片弯矩中的较小的一个叶片弯矩的比值,例如 $a_1 = |Y_1 - Y_2| / \min(Y_1, Y_2)$ 、 $a_2 = |Y_2 - Y_3| / \min(Y_2, Y_3)$ 和 $a_3 = |Y_3 - Y_1| / \min(Y_3, Y_1)$,并且将这三个比值作为比对结果传输给叶片平衡状况确定装置604。在叶片平衡状况确定装置604中,将 a_1 、 a_2 和 a_3 分别与预定阈值进行比较,如果 a_1 、 a_2 和 a_3 中的任一个大于预定阈值,则可以判定风力发电机组601在轮毂高度风速仓1对应的工作环境状况下处于叶片不平衡状态。对于其它轮毂高度风速仓,可以按上述方式类似地确定风力发电机组601的叶片平衡状况。

[0050] 类似地,图4至图6中所示的示例性系统还可以包括报警装置。当叶片平衡状况确定装置判定风力发电机组处于叶片不平衡状态时,可以触发报警装置发出警报,以通知工作人员风力发电机组处于叶片不平衡状态,便于工作人员及时做出相应的措施。此外,图4至图6中所示的示例性系统还可以确定风力发电机组在不同工作环境状况下的叶片平衡状况,便于工作人员结合风力发电机组所处的特定工作环境状况做出相应的措施以减少叶片不平衡对风力发电机组造成的损害。

[0051] 以上根据本发明的实施例的示例性系统的结构框图中所示的装置模块可以实现为硬件、软件、固件或者它们的组合。当以硬件方式实现时,其可以例如是电子电路、专用集

成电路 (ASIC)、适当的固件、插件、功能卡等等。当以软件方式实现时,本发明的元素是被用于执行所需任务的程序或者代码段。程序或者代码段可以存储在机器可读介质中,或者通过载波中携带的数据信号在传输介质或者通信链路上传送。“机器可读介质”可以包括能够存储或传输信息的任何介质。机器可读介质的例子包括电子电路、半导体存储器设备、ROM、闪存、可擦除ROM (EROM)、软盘、CD-ROM、光盘、硬盘、光纤介质、射频 (RF) 链路,等等。代码段可以经由诸如因特网、内联网等的计算机网络被下载。

[0052] 图8是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组的叶片平衡状况的示例性方法的流程图。如图8所示,该流程图包括步骤801、802、803、804和805。

[0053] 步骤801:监测风力发电机组的轮毂高度风速并将该轮毂高度风速与预定风速阈值进行比较。

[0054] 在轮毂高度风速小于或等于预定风速阈值的情况下,执行步骤802:对被设置在风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定。

[0055] 在轮毂高度风速大于预定风速阈值的情况下,执行步骤803至805。

[0056] 步骤803:获取分别与风力发电机组中的N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,其中N为大于等于2的整数。在该步骤中,可以首先获取被设置在风里发电机组的各个叶片上的应变传感器所采集到的应变数据,然后根据应变数据计算出便于确定风力发电机组的叶片平衡状况的应变参数数据。应变参数数据例如可以是叶片的弯矩、质量矩或振动量等。

[0057] :步骤804:计算出每个包括N个叶片应变参数数据中的任意两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值,或者更优选地,可以计算出每个包括N个叶片应变参数数据中的任意两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的较小的一个叶片应变参数数据的比值。按照这种方式,在步骤802中可以计算得到 $C_N^2 = N \times (N - 1) / 2$ 个比值。

[0058] 步骤805:将在步骤804中所得到的所有比值分别与预定阈值比较,并且当所有比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组处于叶片不平衡状态。

[0059] 图9是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图。该流程图包括步骤901、902、903、904、905和906。

[0060] 步骤901:监测风力发电机组的轮毂高度风速并将该轮毂高度风速与预定风速阈值进行比较。

[0061] 在轮毂高度风速小于或等于预定风速阈值的情况下,执行步骤902:对被设置在风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定。

[0062] 在轮毂高度风速大于预定风速阈值的情况下,执行步骤903至906。

[0063] 步骤903:获取分别与风力发电机组中的N个叶片的应变相对应的N个叶片应变参数数据,其中N为大于等于2的整数。在该步骤中,可以首先获取被设置在风里发电机组的各个叶片上的应变传感器所采集到的应变数据,然后根据应变数据计算出便于确定风力发电机组的叶片平衡状况的应变参数数据。应变参数数据例如可以是叶片的弯矩、质量矩或振动量等。

[0064] 步骤904:与获取N个叶片应变参数数据同步地获取风力发电机组的轮毂高度风

速。该轮毂高度风速例如可以是风力发电机组的轮毂高度风速。

[0065] 步骤905:计算出每个包括N个叶片应变参数数据中的任意两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值。

[0066] 步骤906:将在步骤905中所得到的所有比值分别与预定阈值比较,并且当所有比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组在所述轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

[0067] 图10是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图。该流程图包括步骤1001、1002、1003、1004、1005和1006。

[0068] 步骤1001:监测风力发电机组的轮毂高度风速并将该轮毂高度风速与预定风速阈值进行比较。

[0069] 在轮毂高度风速小于或等于预定风速阈值的情况下,执行步骤1002:对被设置在风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定。

[0070] 在轮毂高度风速大于预定风速阈值的情况下,执行步骤1003至1006。

[0071] 步骤1003:在预定时段内的K个时间点处获取K个轮毂高度风速,其中K为大于等于1的整数,并且将K个轮毂高度风速中的每个轮毂高度风速归类在与其对应的预定的轮毂高度风速区间内。

[0072] 步骤1004:针对N个叶片中的每个叶片,在预定时段内的K个时间点处与获取K个轮毂高度风速同步地获取K个叶片应变参数数据,并且针对预定的轮毂高度风速区间,计算与被归类在该预定的轮毂高度风速区间内的所有轮毂高度风速同步被获取的所述叶片的叶片应变参数数据的平均值,作为与该预定的轮毂高度风速区间相对应的所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到与该预定的轮毂高度风速区间相对应的N个叶片应变参数数据。在该步骤中,可以首先获取被设置在风里发电机组的各个叶片上的应变传感器所采集到的应变数据,然后根据应变数据计算出便于确定风力发电机组的叶片平衡状况的应变参数数据。应变参数数据例如可以是叶片的弯矩、质量矩或振动量等。

[0073] 步骤1005:计算出每个包括N个叶片应变参数数据中的任意两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值。

[0074] 步骤1006:将在步骤1005中所得的所有比值与预定阈值比较,并且当所有比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组在预定的轮毂高度风速区间内处于叶片不平衡状态。

[0075] 图11是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图。该流程图包括步骤1101、1102、1103、1104、1105和1106。

[0076] 步骤1101:监测风力发电机组的轮毂高度风速并将该轮毂高度风速与预定风速阈值进行比较。

[0077] 在轮毂高度风速小于或等于预定风速阈值的情况下,执行步骤1102:对被设置在风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定。

[0078] 在轮毂高度风速大于预定风速阈值的情况下,执行步骤1103至1106。

[0079] 步骤1103:在预定时段中的M个时间点处获取风力发电机组的M个轮毂高度风速,

其中M为大于等于1的整数,并且计算M个轮毂高度风速的平均值作为轮毂高度风速。

[0080] 步骤1104:针对所述N个叶片中的每个叶片,在预定时段内的M个时间点处与获取M个轮毂高度风速同步地获取与该叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算M个叶片应变参数数据的平均值作为该叶片的叶片应变参数数据,从而得到N个叶片应变参数数据。在该步骤中,可以首先获取被设置在风里发电机组的各个叶片上的应变传感器所采集到的应变数据,然后根据应变数据计算出便于确定风力发电机组的叶片平衡状况的应变参数数据。应变参数数据例如可以是叶片的弯矩、质量矩或振动量等。

[0081] 步骤1105:计算出每个包括N个叶片应变参数数据中的任意两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应变参数数据的比值。

[0082] 步骤1106:将在步骤1105中所得到的所有比值分别与预定阈值比较,并且当所有比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组在所述轮毂高度风速下处于叶片不平衡状态。

[0083] 图12是根据本发明的实施例的用于确定风力发电机组叶片平衡状况的另一示例性方法的流程图。该流程图包括步骤1201、1202、1203、1204、1205、1206、1207和1208。

[0084] 步骤1201:监测风力发电机组的轮毂高度风速并将该轮毂高度风速与预定风速阈值进行比较。

[0085] 在轮毂高度风速小于或等于预定风速阈值的情况下,执行步骤1202:对被设置在风力发电机组中的N个叶片上的应变传感器进行标定。

[0086] 在轮毂高度风速大于预定风速阈值的情况下,执行步骤1203至1208。

[0087] 步骤1203:在预定时段中的K个预定子时段(例如每个子时段为10分钟)中的每个预定子时段内的M个时间点处获取风力发电机组的M个轮毂高度风速,其中M为大于等于1的整数,并且计算M个轮毂高度风速的平均值作为与该预定子时段相对应的轮毂高度风速,从而得到与K个预定子时段相对应的K个轮毂高度风速。

[0088] 步骤1204:针对N个叶片中的每个叶片,在K个预定子时段中的每个预定子时段内的M个时间点处与获取M个轮毂高度风速同步地获取与所述叶片相对应的M个叶片应变参数数据,并且计算M个叶片应变参数数据的平均值作为与该预定子时段相对应的所述叶片的叶片应变参数数据,从而得到与K个预定子时段相对应的所述叶片的K个叶片应变参数数据。在该步骤中,可以首先获取被设置在风里发电机组的各个叶片上的应变传感器所采集到的应变数据,然后根据应变数据计算出便于确定风力发电机组的叶片平衡状况的应变参数数据。应变参数数据例如可以是叶片的弯矩、质量矩或振动量等。

[0089] 步骤1205:将K个轮毂高度风速中的每个轮毂高度风速归类在与其对应的预定的轮毂高度风速区间内。

[0090] 步骤1206:针对预定的轮毂高度风速区间,针对N个叶片中的每个叶片,计算与被归类在该预定的轮毂高度风速区间内的所有轮毂高度风速同步被获取的该叶片的叶片应变参数数据的平均值,作为与该预定的轮毂高度风速区间相对应的该叶片的叶片应变参数数据,从而得到与该预定的轮毂高度风速区间相对应的N个叶片应变参数数据。

[0091] 步骤1207:计算出每个包括N个叶片应变参数数据中的任意两个叶片应变参数数据的组合中的两个叶片应变参数数据的差值与这两个叶片应变参数数据中的任一叶片应

变参数数据的比值。

[0092] 步骤1208:将在步骤1207中所得的所有比值与预定阈值比较,并且当所有比值中的任一比值大于预定阈值时,判定风力发电机组在预定的轮毂高度风速区间内处于叶片不平衡状态。

[0093] 在以上对根据本发明的实施例的示例性方法的描述中,这些示例性方法中的各个步骤被顺序描述并且在流程图中按顺序被示出,但是本发明不对这些步骤的执行顺序进行限制,例如一些步骤可以同时被执行,先描述的步骤也可以在后描述的步骤之后被执行,并且一些步骤可以被合并成一个步骤或者一个步骤可以被拆分成多个步骤。例如,图9中所示的步骤903和904可以同时被执行;图10中所示的步骤1003和1004可以同时被执行;图11中所示的步骤1103和1104可以同时被执行;图12中所示的步骤1203和1204可以同时被执行,并且步骤1205可以在步骤1204之前被执行;图10中所示的步骤1003和图11中所示的步骤1103可以被拆分成两个步骤;图12中所示步骤1203和1205可以被合并成一个步骤等等。

[0094] 此外,以上所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。在以上的描述中,提供了许多具体细节以给出对本发明的实施例的充分理解。然而,本领域技术人员将意识到,可以实践本发明的技术方案而没有特定细节中的一个或更多,或者可以采用其它的方法、组元、材料等。在其它情况下,不详细示出或描述公知结构、材料或者操作以避免模糊本发明的主要技术创意。

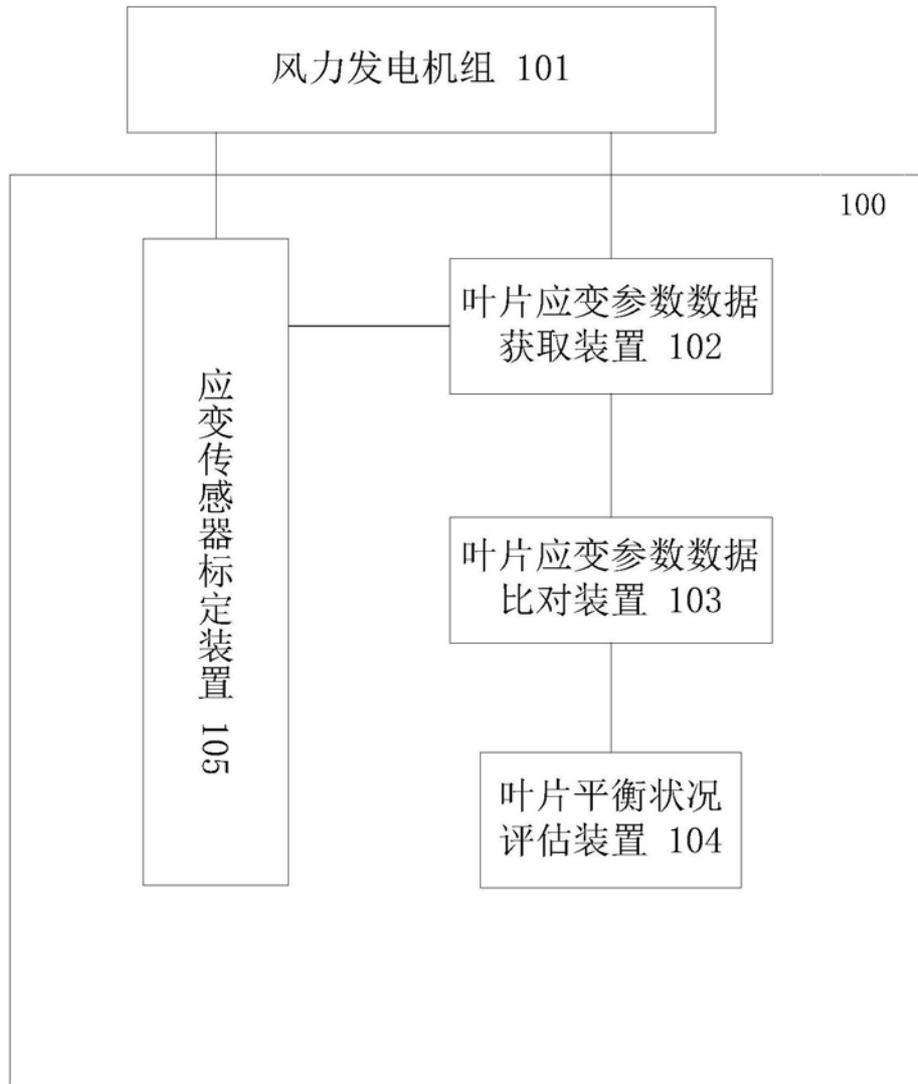


图1

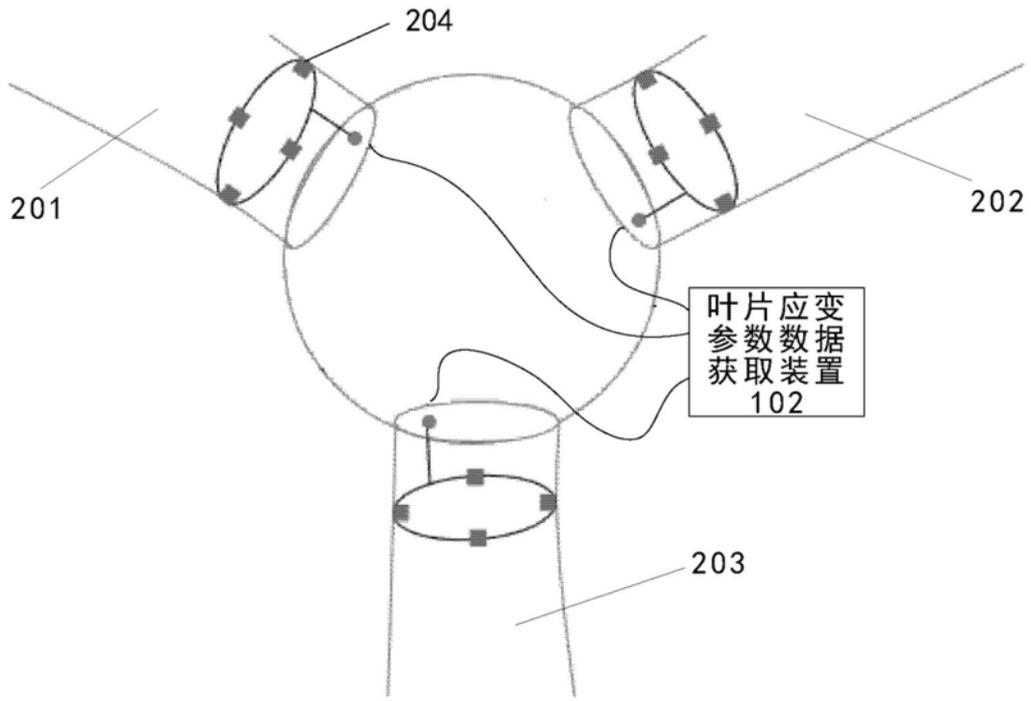


图2

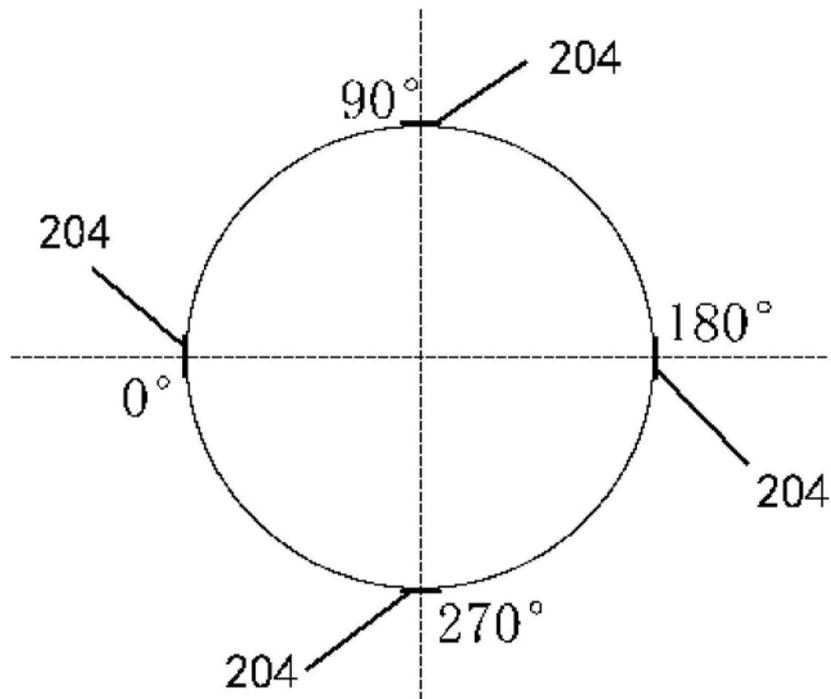


图3

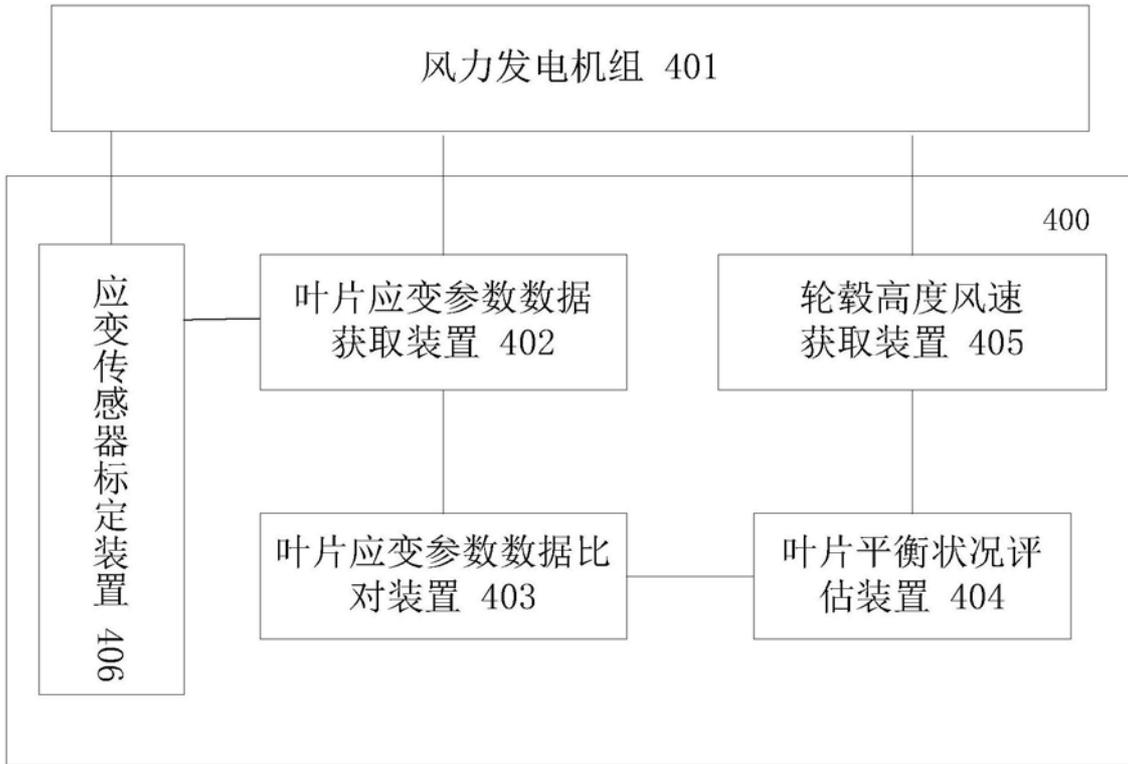


图4

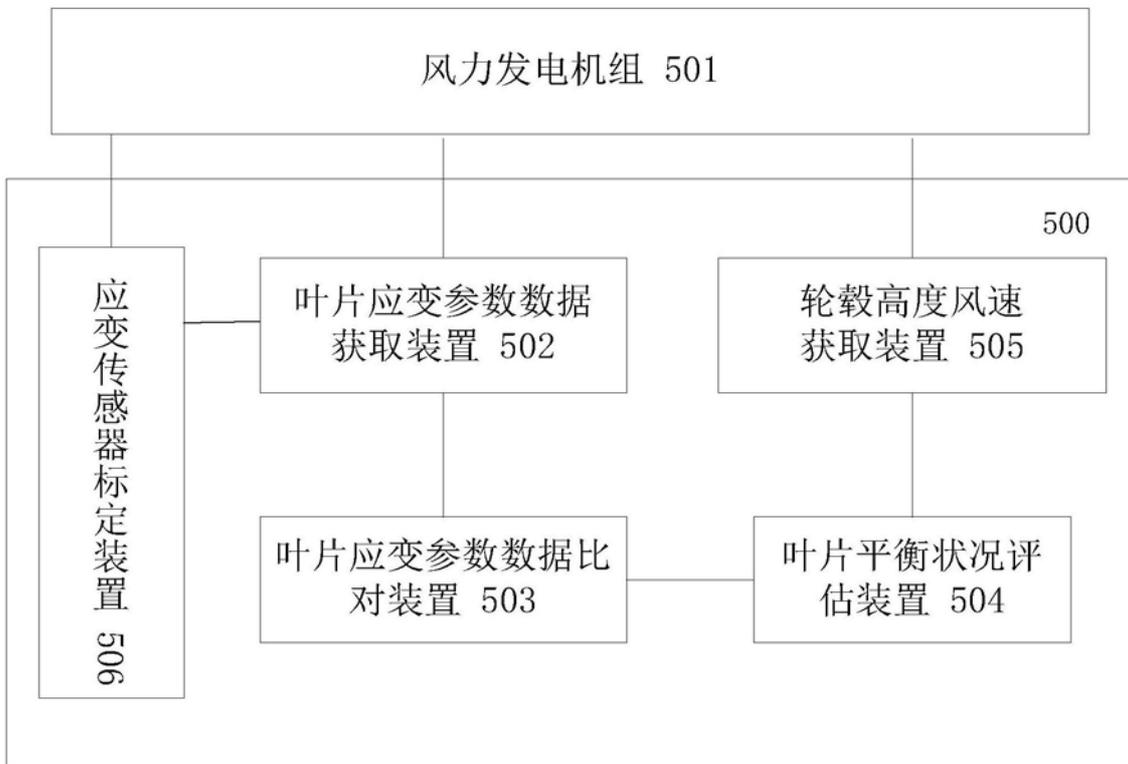


图5

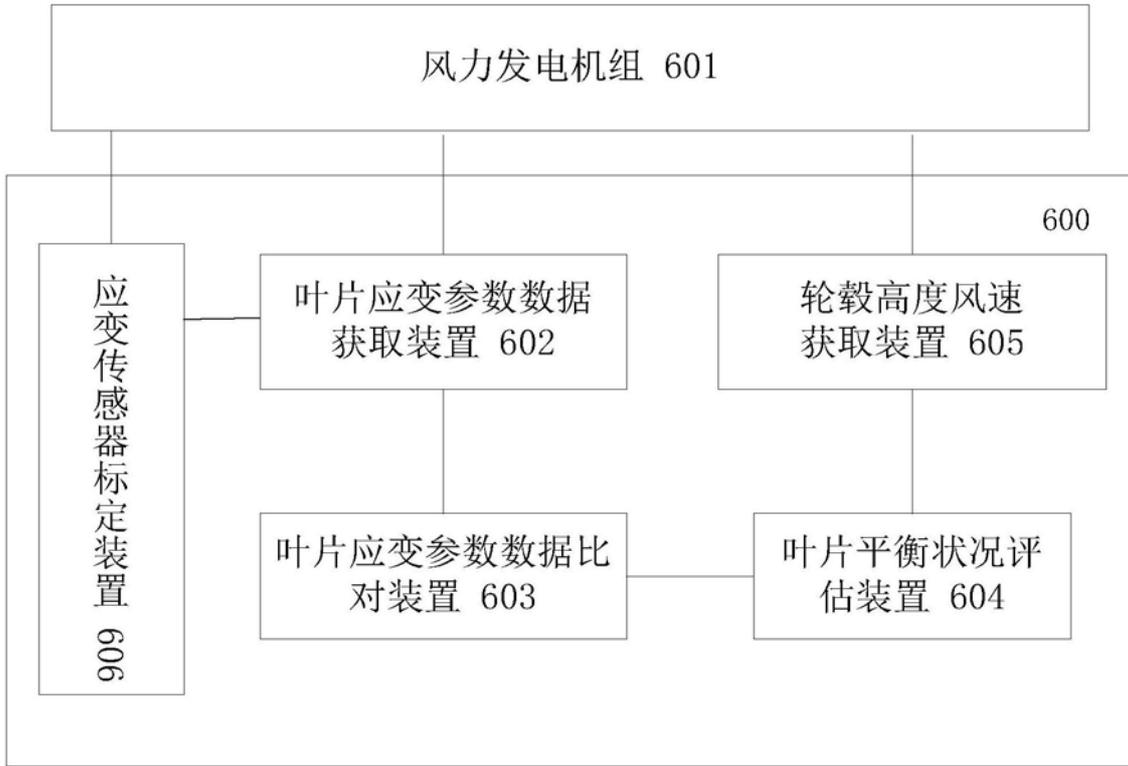


图6

风速分仓评估叶片不平衡											
切入风速: 3 m/s ; 切出风速:25m/s											
仓编号.	轮毂高度风速 (m/s)		功率 (kW)	转速 (RPM)	1#叶片弯矩 (kNm)		2#叶片弯矩 (kNm)		3#叶片弯矩 (kNm)		10min 数据量个数
					挥舞	摆振	挥舞	摆振	挥舞	摆振	
1	2.5	3.5	19.23	9.25	341.00	22.94	352.45	24.23	336.89	23.53	97
2	3.5	4.5	77.38	10.15	485.28	134.63	492.65	129.34	475.43	127.83	127
3	4.5	5.5	173.62	10.52	657.96	188.76	672.24	183.97	638.25	192.32	216
4	5.5	6.5									
5	6.5	7.5									
6	7.5	8.5									
7	8.5	9.5									
8	9.5	10.5									

图7

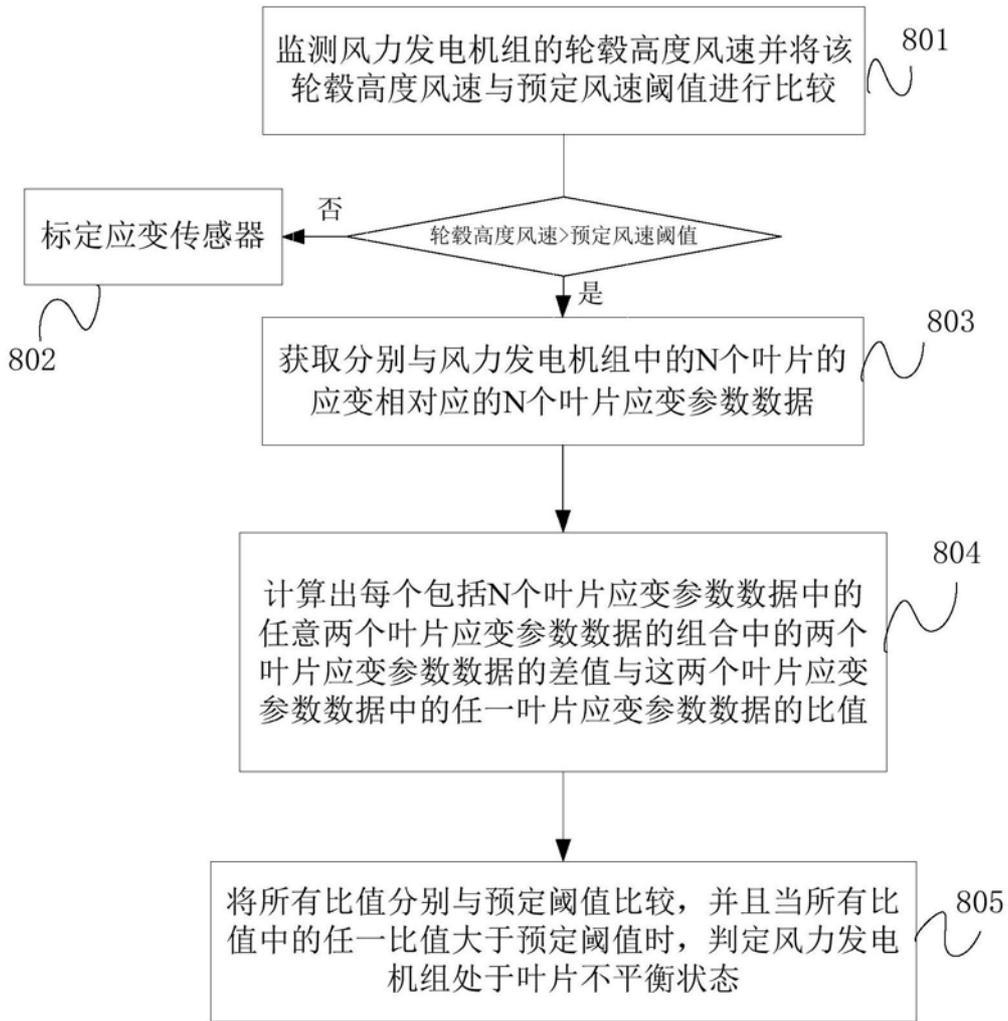


图8

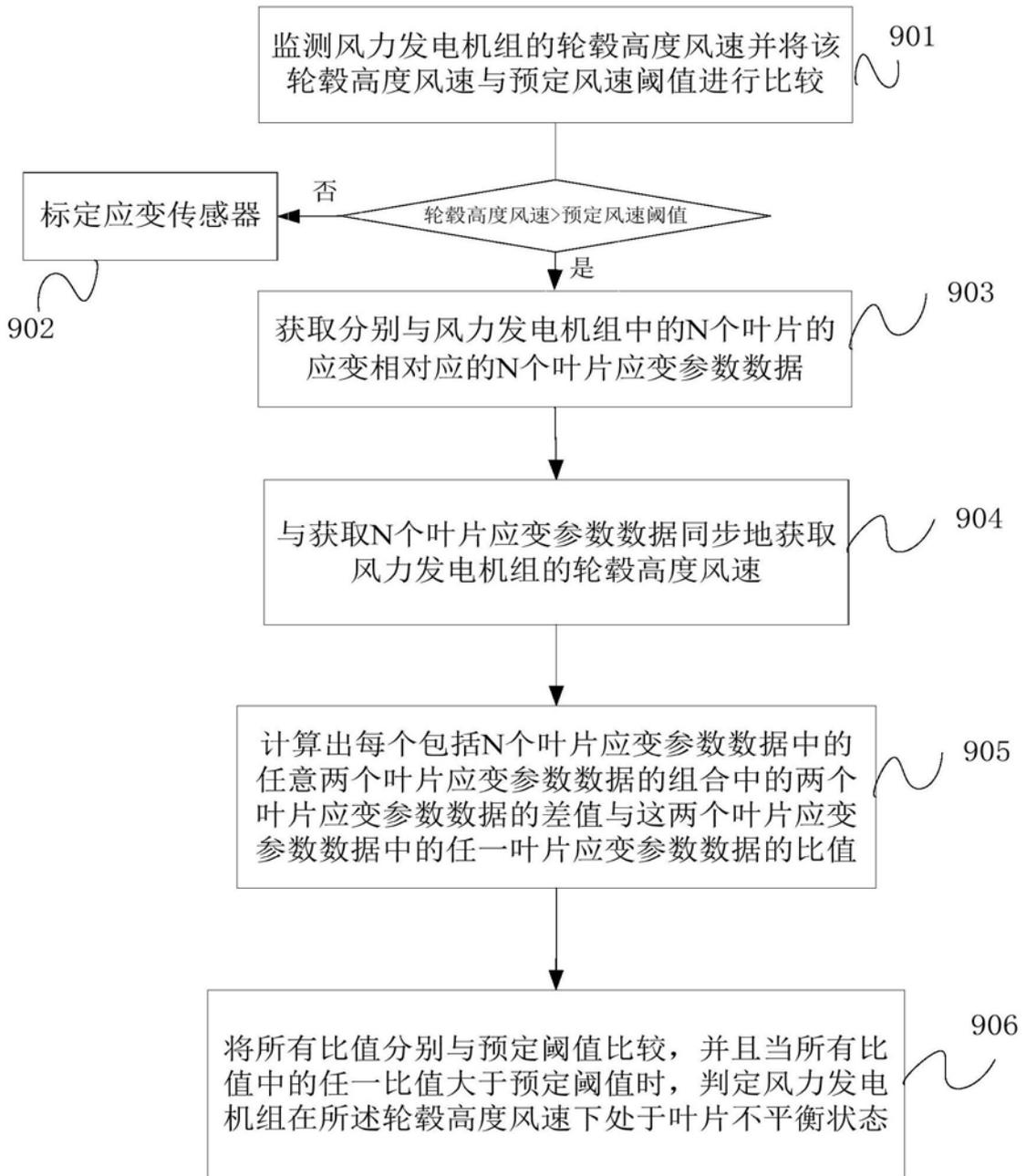


图9

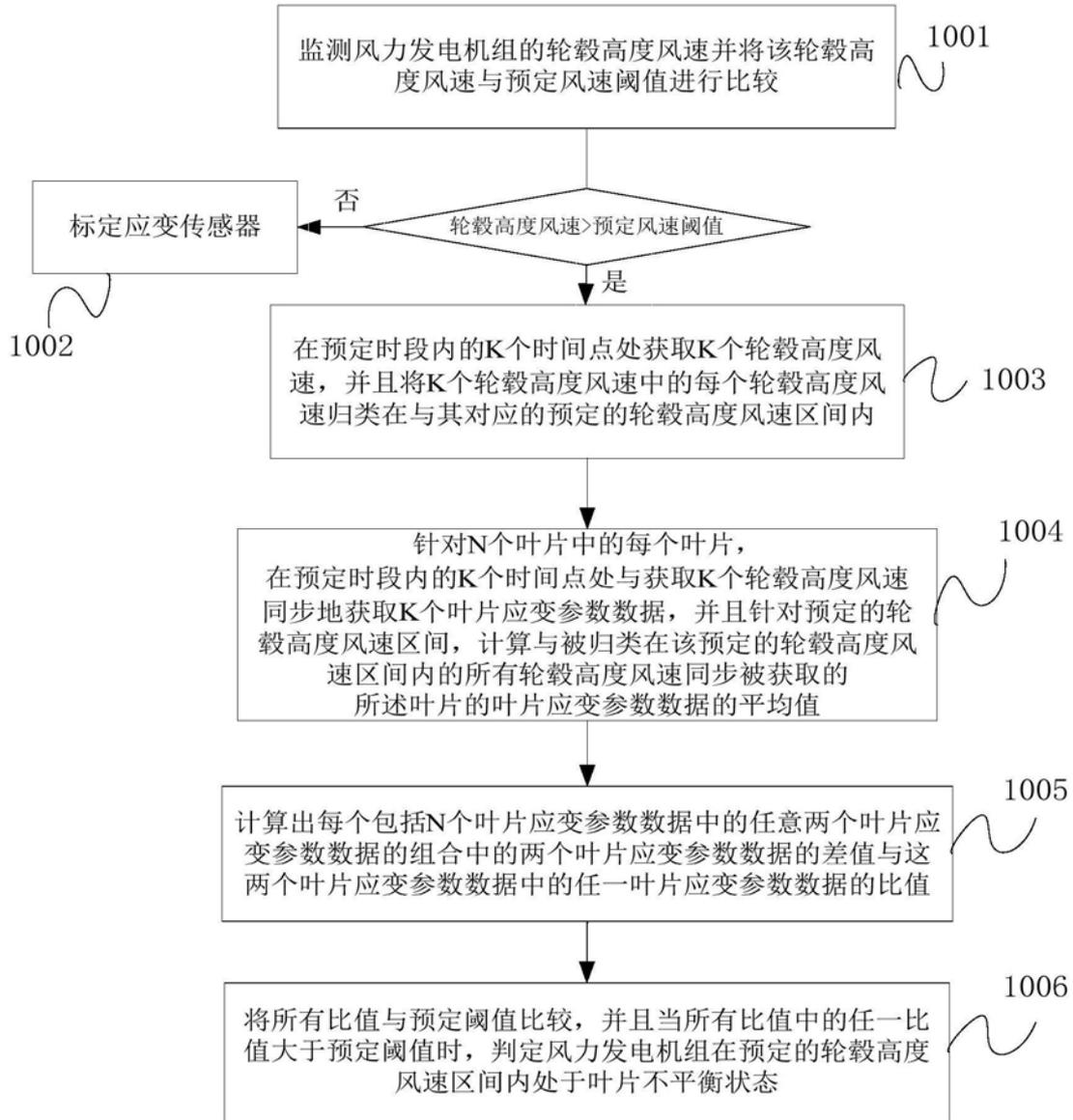


图10

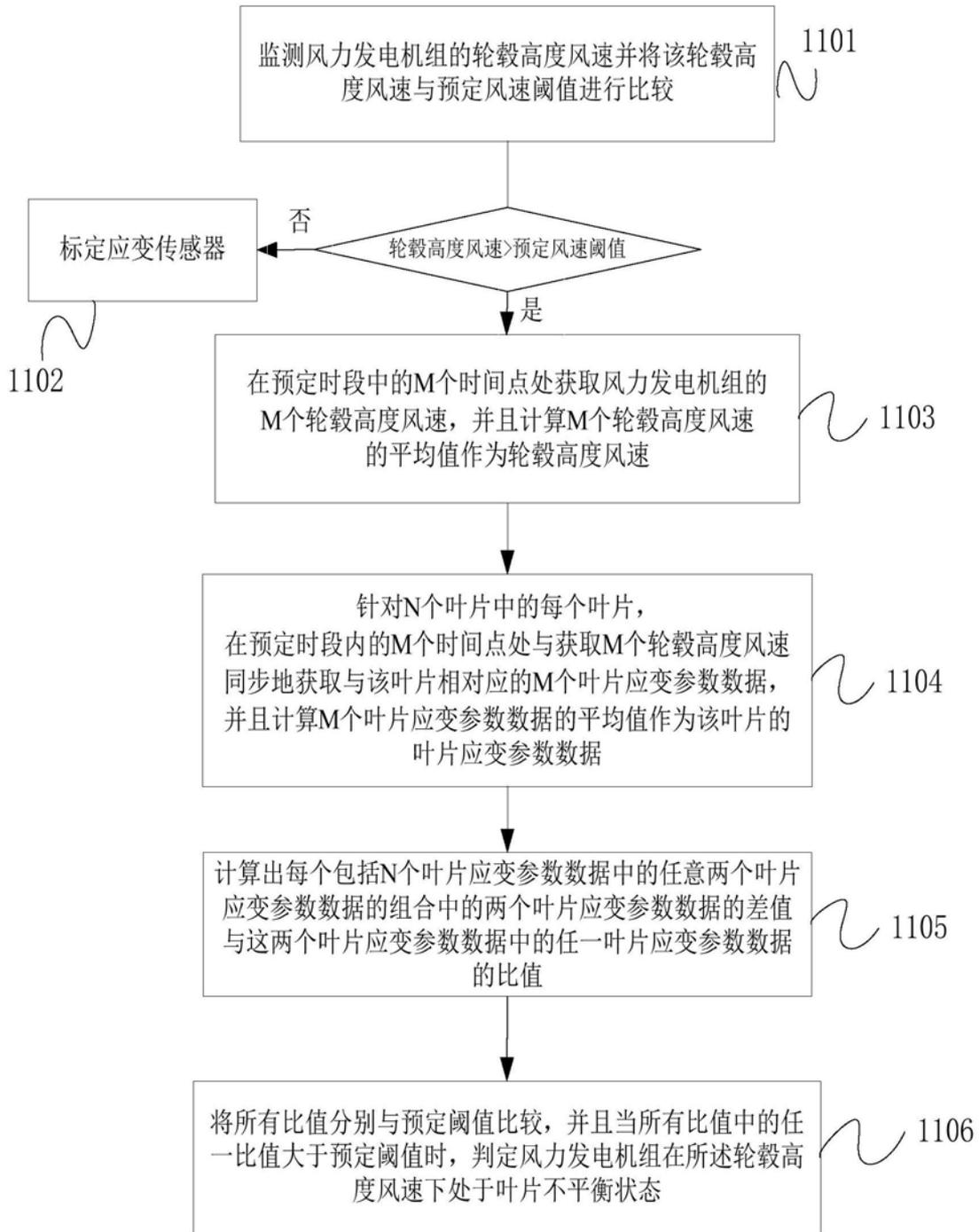


图11

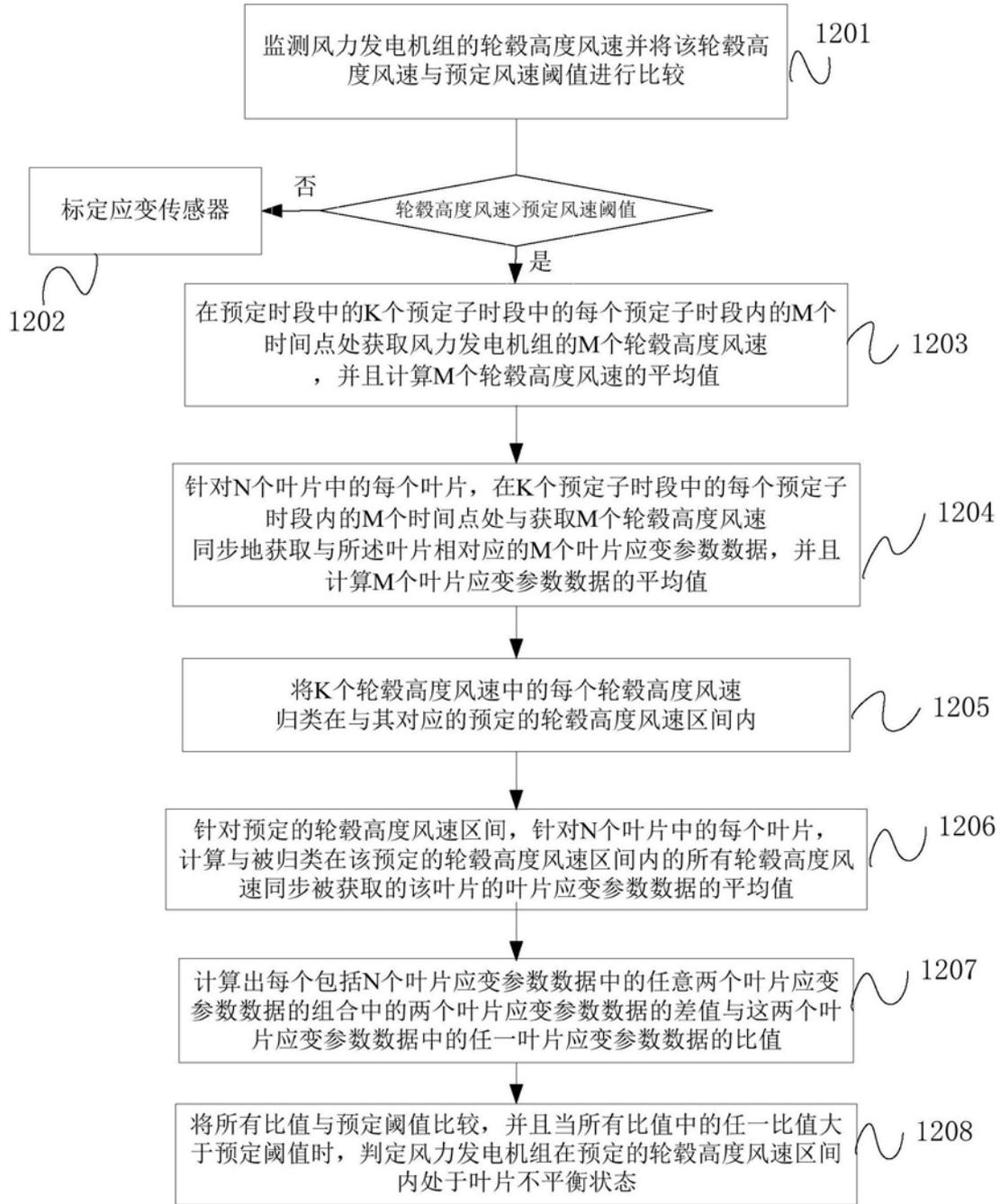


图12