



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104021309 B

(45)授权公告日 2016.10.12

(21)申请号 201410281696.X

US 7560823 B2, 2009.07.14,

(22)申请日 2014.06.20

EP 2284634 A1, 2011.02.16,

(65)同一申请的已公布的文献号

US 8401793 B2, 2013.03.19,

申请公布号 CN 104021309 A

黄林宏.《风电场风速数值预报的修订方法探讨》.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 基础科学辑》.2012,(第9期),

(43)申请公布日 2014.09.03

潘晓春.《风电场测风数据订正方法的比较研究》.《电工文摘》.2009,65-70.

(73)专利权人 中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司

James G.Droppi, et al..《Wind Direction Bias in Generating Wind Rose and Conducting Sector-Based Air Dispersion Modeling》.《Journal of the Air & Waste Management Association》.2012, 第58卷913-918.

(72)发明人 潘晓春 程春龙 蔡升华 李剑锋
任亚群

D.Deligiorgi, et al..《Analysis of the Wind Field at the Broader Area of Chania, Crete》.《Proc.of the 3rd IASME/WSEAS Int.Conf.on Energy, Environment,Ecosystems and Sustainable Development》.2007,

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

审查员 李宇文

代理人 董建林 许婉静

权利要求书2页 说明书11页 附图12页

(51)Int.Cl.

G06F 19/00(2011.01)

(56)对比文件

CN 103793511 A, 2014.05.14,

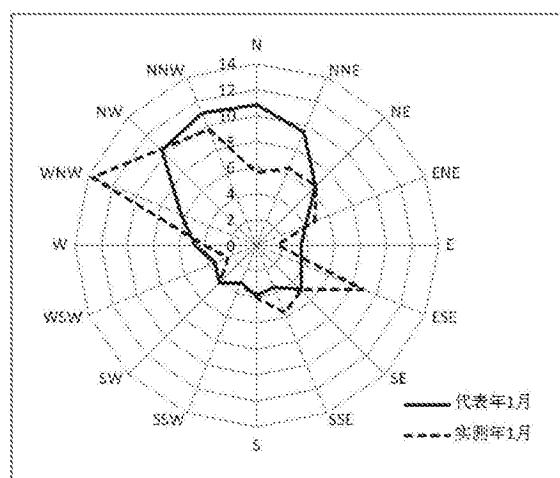
CN 103679298 A, 2014.03.26,

(54)发明名称

基于方位偏转法的测风数据风向订正方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于方位偏转法的测风数据风向订正方法,其特征在于,以直角坐标系原点为中心,将风电场或空冷电厂的长期气象参证站C站的X年逐月风向玫瑰图逐一按顺时针作整体偏转 j 个角度单位($j=0,1,\dots,15$),分别将偏转后的风向玫瑰图与D年或Y_i年($i=1,2,\dots,10$)各年逐月风向玫瑰图进行比较,计算各偏转角度对应的差异性指标,得出各对应风向玫瑰图最为相似的相应最佳偏转角度 δ ;本发明为将工程点实测年逐小时风向订正成待求年份逐小时风向序列提供依据,可以适用于例如近海或海上风电场、空冷电厂之类的工程地点和长期气象参证站距离较远情形下的风向订正。



1. 一种基于方位偏转法的测风数据风向订正方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 取正北方向为0度,以顺时针每隔 22.5° 取一个风向,共16个风向,按所述16个风向统计风电场工程长期气象参证站C站的实测年X年与代表年D年逐月风向频率,并据此绘制相应风向玫瑰图;统计空冷电厂工程长期气象参证站C站的实测年X年与典型年D年或近10年各年逐月风向频率,并据此绘制相应风向玫瑰图;

(2) 以直角坐标系原点为中心,将风电场或空冷电厂工程长期气象参证站C站的X年逐月风向玫瑰图逐一按顺时针作整体偏转j个角度单位,其中 $j=0,1,\dots,15$,分别将偏转后的风向玫瑰图与D年或Y_k年中各年逐月风向玫瑰图进行比较,其中, $k=1,2,\dots,10$,计算各偏转角度对应的差异性指标,得出各对应风向玫瑰图最为相似的相应最佳偏转角度 δ ;

(3) 将得到的风电场或空冷电厂工程长期气象参证站C站的上述逐月最佳偏转角度 δ ,用于对风电场或空冷电厂工程地点的临时气象观测站F站的对应月份的逐小时实测风向数据进行订正,从而获得风电场或空冷电厂工程地点的临时气象观测站F站D年或Y_k年中各年逐小时风向的订正数据,其中, $k=1,2,\dots,10$;

在所述步骤2)中,最佳偏转角度 δ 的计算方法按式(19)计算,或者最佳偏转角度 δ 的计算方法按式(20)计算:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = 22.5^\circ \times j^*, \quad j^* \in \left\{ j^* \mid F(j^*) = \min \{F(j)\}, j=0,1,\dots,15 \right\} \\ F(j) = \sum_{i=1}^j |D_{sc}^2(0, i-j+16) - D_{dc}^2(0, i)| + \sum_{i=j+1}^{16} |D_{sc}^2(0, i-j) - D_{dc}^2(0, i)| \end{array} \right. \quad (19)$$

式中, δ ——最佳偏转角度, j^* ——最佳偏转角度单位, $F(j)$ ——离差类函数;

$D_{dc}(0, i)$ ——长期气象参证站代表年第*i*方向的风向频率,其中, $i=1,2,\dots,16$;

$D_{sc}(0, i-j+16)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向顺时针偏转j个角度单位后,偏转后的风向玫瑰图第*i*风向频率, $i \in [1, j]$, $j=0,1,\dots,15$;每个角度单位为 22.5° ;

$D_{sc}(0, i-j)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向顺时针偏转j个角度单位后,偏转后的风向玫瑰图第*i*风向频率, $i \in [j+1, 16]$, $j=0,1,\dots,15$;每个角度单位为 22.5° ;

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = 22.5^\circ \times j^*, \quad j^* \in \left\{ j^* \mid A(j^*) = \max \{A(j)\}, j=0,1,\dots,15 \right\} \\ A(j) = \frac{\pi}{16} \sum_{i=1}^{16} [r(j, i)]^2 \end{array} \right. \quad (20)$$

式中, $A(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图的重叠面积, $j=0,1,\dots,15$;

$r(j, i)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后第*i*风向的重叠部分的频率,取 $r(j, i) = \min \{D_{sc}(j, i), D_{dc}(0, i)\}$;

$D_{sc}(j, i)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向顺时针偏转j个角度单位后,偏转后的风向玫瑰图第*i*风向频率:

$$D_{sc}(j, i) = \begin{cases} D_{sc}(0, i-j+16) & i \in [1, j] \\ D_{sc}(0, i-j) & i \in [j+1, 16] \end{cases} \quad j=0,1,\dots,15 \quad (1).$$

基于方位偏转法的测风数据风向订正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测风数据的风向订正方法，属于风电场风能资源评估和空冷电厂气象评估技术领域。

背景技术

[0002] 根据现行国家和行业标准，全国能源基础与管理标准化技术委员会.GB/T18710—2002风电场风能资源评估方法[S].北京：中国电力出版社，2002。中华人民共和国国家能源局.DL/T 5158—2012电力工程气象勘测技术规程[S].北京：中国计划出版社，2012。风电场和空冷电厂设计过程中，需要根据工程地点与同一气候区长期气象参证站同期的实测风速风向数据建立某种数量关系，并据此订正求得风电场场址代表年逐小时风速风向序列，或空冷电厂厂址典型年和最近10年逐小时风速风向序列，以用于风电场风能资源评估、发电量计算以及空冷电厂设计气象参数统计分析。

[0003] 为满足风电场风能资源评估和空冷电厂设计要求，一般要求工程地点积累连续一年的测风数据，而在较长时期内，这一年的数据有可能高于、低于或相当于长期平均水平，即实测年分别为大风年、小风年及平风年的情形。

[0004] 根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T 18710—2002)第5.3.1条，风电场测风数据订正的目的，是根据长期气象参证站的观测数据，将验证后的风场站测风数据订正为一套反映场址长期平均水平的代表性数据，即风电场测风高度上代表年(亦即平风年)的逐小时风速风向数据。

[0005] 根据《电力工程气象勘测技术规程》(DL/T 5158—2012)第5.8.5条，应根据对比观测期间气象参证站与工程地点空冷气象观测站之间气温、风速和风向的差异分析结果和工程地点空冷气象观测站气温、风速和风向的垂直变化分析结果，对依据气象参证站最近10年的逐小时气温、风速和风向资料分析统计的各项空冷气象参数进行修正，最终获得能够充分代表拟建空冷凝汽器分配管高度位置实际情况的空冷气象参数。

[0006] 对于测风数据的订正，目前主要有风速扇区相关分析订正法、风速分月相关分析订正法以及风矢量相关分析订正法。其中风矢量相关分析订正法将风作为矢量来看待，期望将风速、风向一并进行订正，因而也应作为风向订正的一种方法。其它方法仅对风速进行订正，并不涉及风向订正。

[0007] 风矢量相关分析订正法的具体做法叙述如下：

[0008] 根据观测期内空冷电厂厂址或风电场场址与长期气象参证站逐小时测风资料，以气象站的逐小时风矢量为自变量，以厂址观测点的逐小时风矢量为因变量，分别建立观测期间厂址观测点各月逐小时风矢量与气象站各月逐小时风矢量的相关关系，利用逐小时风在两个正交方向u、v上的分量资料计算得出各月回归方程和相关系数，进而据此进行风速风向订正和反演重建。

[0009] 然而，根据《电力工程气象勘测技术规程》(DL/T 5158—2012)第5.8.5条文说明，采用风矢量的相关分析方法反演重建的风速值在多数情况下偏小，主导风向有时可能出现

失真的情况；此外，根据《空冷气象调研报告》（西北电力设计院，2010年3月），总体上两地风速采用矢量方法相关， v 分量相关系数小于0.8， u 分量相关系数小于0.6，其数据相关程度也不高，合成新的风以后，其相关误差将更大。

[0010] 因此，风矢量相关分析订正法难以作为普遍的方法予以应用。由于缺少可靠方法，目前实际工程中一般不对风向施行订正，而直接移用风电场或空冷电厂工程地点临时测站实测年的逐小时风向数据，以其与订正后的逐小时风速数据合并构成逐小时风矢量数据（风速风向序列），用以进行风电场代表年风能资源评估与发电量计算，或空冷气象参数分析统计。

[0011] 客观上，由于不同年份的天气系统的差异，除风速以外，风电场或空冷电厂工程地点代表年或典型年的风向与实测年的风向分布存在差异是必然的，这种差异可能难以忽视，直接移用工程地点实测年的风向数据严格来说是不妥当的。

[0012] 空冷电厂设计还需要反演重建以获得厂址近10年的逐小时风速风向数据。若对每年的风向均以厂址实测年1年风向数据来代替，亦即厂址近10年的逐小时风向均相同，以其与逐小时风速一起组成近10年的风矢量数据，应用这样的数据进行空冷气象参数统计，其成果可能与实际出入较大。

发明内容

[0013] 本发明所要解决的技术问题是提供一种对测风数据的风向进行订正的方法，可以实现对风力发电场测风数据的风向进行可靠的订正。

[0014] 为解决上述技术问题，本发明提供一种基于方位偏转法的测风数据风向订正方法，其特征在于，包括以下步骤：

[0015] (1)取正北方向为0度，以顺时针每隔 22.5° 取一个风向，共16个风向，按所述16个风向统计风电场工程长期气象参证站C站的实测年X年与代表年D年逐月风向频率，并据此绘制相应风向玫瑰图；统计空冷电厂工程长期气象参证站C站的实测年X年与典型年D年或近10年各年逐月风向频率，并据此绘制相应风向玫瑰图；

[0016] (2)以直角坐标系原点为中心，将风电场或空冷电厂工程长期气象参证站C站的X年逐月风向玫瑰图逐一按顺时针作整体偏转 j 个角度单位($j=0, 1, \dots, 15$)，分别将偏转后的风向玫瑰图与D年或 Y_k 年($k=1, 2, \dots, 10$)中各年逐月风向玫瑰图进行比较，计算各偏转角度对应的差异性指标，得出各对应风向玫瑰图最为相似的相应最佳偏转角度 δ ；

[0017] (3)将得到的风电场或空冷电厂工程长期气象参证站C站的上述逐月最佳偏转角度 δ ，用于对风电场或空冷电厂工程地点的临时气象观测站F站的对应月份的逐小时实测风向数据进行订正，从而获得风电场或空冷电厂工程地点的临时气象观测站F站D年或 Y_k 年($k=1, 2, \dots, 10$)中各年逐小时风向的订正数据。

[0018] 前述的基于方位偏转法的测风数据风向订正方法，其特征在于：在所述步骤2)中，最佳偏转角度 δ 的计算方法按式(19)计算：

$$[0019] \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta = 22.5^\circ \times j^*, \quad j^* \in \left\{ j^* \mid F(j^*) = \min \{F(j)\}, \ j=0,1,\dots,15 \right\} \\ F(j) = \sum_{i=1}^j |D_{sc}^{-2}(0, i-j+16) - D_{dc}^{-2}(0, i)| + \sum_{i=j+1}^{16} |D_{sc}^{-2}(0, i-j) - D_{dc}^{-2}(0, i)| \end{array} \right. \quad (19)$$

- [0020] 其中, δ ——最佳偏转角度, j^* ——最佳偏转角度单位, $F(j)$ ——离差类函数;
- [0021] $D_{dc}(0, i)$ ——长期气象参证站代表年第*i*方向的风向频率($i=1,2,\dots,16$);
- [0022] $D_{sc}(0, i-j+16)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向顺时针偏转*j*个角度单位后, 偏转后的风向玫瑰图第*i*风向频率, $i \in [1, j]$, $j=0,1,\dots,15$; 每个角度单位为 22.5° ;
- [0023] $D_{sc}(0, i-j)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向顺时针偏转*j*个角度单位后, 偏转后的风向玫瑰图第*i*风向频率, $i \in [j+1, 16]$, $j=0,1,\dots,15$; 每个角度单位为 22.5° ;
- [0024] 前述的基于方位偏转法的测风数据风向订正方法, 其特征在于: 在所述步骤2)中, 最佳偏转角度 δ 的计算方法按式(20)计算:

$$[0025] \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta = 22.5^\circ \times j^*, \quad j^* \in \left\{ j^* \mid A(j^*) = \max \{A(j)\}, \ j=0,1,\dots,15 \right\} \\ A(j) = \frac{\pi}{16} \sum_{i=1}^{16} [r(j, i)]^2 \end{array} \right. \quad (20)$$

- [0026] 式中, $A(j)$ ——实测年风向偏转*j*个角度单位后风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图的重叠面积, $j=0,1,\dots,15$;
- [0027] $r(j, i)$ ——实测年风向偏转*j*个角度单位后第*i*风向的重叠部分的频率, 取 $r(j, i) = \min \{D_{sc}(j, i), D_{dc}(0, i)\}$;
- [0028] $D_{sc}(j, i)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向顺时针偏转*j*个角度单位后,
- [0029] 偏转后的风向玫瑰图第*i*风向频率:

$$[0030] \quad D_{sc}(j, i) = \begin{cases} D_{sc}(0, i-j+16) & i \in [1, j] \\ D_{sc}(0, i-j) & i \in [j+1, 16] \end{cases} \quad j=0,1,\dots,15 \quad (1)$$

- [0031] 本发明所达到的有益效果: 本发明通过合理可靠的数学模型, 来评判长期气象参证站待求年份代表年、典型年或最近10年中的某年与实测年在风向频率分布上的定量差异, 为将工程点实测年逐小时风向订正成待求年份逐小时风向序列提供依据。

附图说明

- [0032] 图1-1至图1-12分别为C长期气象参证站2005年和1998年1-12月风向玫瑰图;
- [0033] 图2-1至图2-7分别为C长期气象参证站2005年偏转后和1998年1、3、5、6、7、8、10月风向玫瑰对比图;
- [0034] 图3为F风场站实测年和代表年订正风向玫瑰图;
- [0035] 图4为各法订正成果分风向平均风速折线图;
- [0036] 图5为各订正方法风能玫瑰图。

具体实施方式

[0037] 方位偏转法原理与假定：

[0038] 本申请以各月的风向频率分布(各月风向玫瑰图)为基础,提出的方位偏转法进行风向订正。某地(譬如长期气象参证站)不同年份间某一对应月份的风向频率分布一般存在整体形态上的相似性。然而,对由16个风向统计的风向频率而言,年际间同月主导风向或次主导风向却有可能存在1~3个方位的差异。分别考察不同年份间同月风向频率分布的整体形态上的定量差异,便可用作风向的方位偏转订正。

[0039] 根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T 18710—2002)、《电力工程气象勘测技术规程》(DL/T 5158—2012),风电场气象、空冷电厂气象的长期气象参证站按照与工程地点气候气象条件相近、地形地貌或下垫面条件相似、距离较近的原则进行选择。

[0040] 假定:对于不同年份间的同月风向频率分布,风电场或空冷电厂工程地点与附近长期气象参证站具有相似的整体方位偏转量。如此即可将长期气象参证站的不同年份间同月风向频率整体方位偏转量直接用于工程地点实测年的各月风向偏转订正。

[0041] 订正的步骤:

[0042] 设风电场或空冷电厂工程地点的临时气象观测站(F站)具有实测年(X年)一整年现场实测逐小时风向数据;同时根据工程需要,已搜集掌握长期气象参证站(C站)代表年、典型年(D年)或近10年各年(Y_i 年, $i=1,2,\dots,10$)逐小时风向数据。

[0043] 需要特别说明的是,风电场工程的代表年与空冷电厂工程的典型年的选择标准是不同的。对于风电场工程,C站代表年D年系在该站最近30年中选择年平均风速与多年平均风速相同或最为接近的年份;而对于空冷电厂工程,C站典型年D年系在该站最近10年中选择年平均气温与多年平均气温相同或最为接近的年份。

[0044] 测风数据风向订正的方位偏转法实施步骤如下:

[0045] (1)取正北方向为0度,以顺时针每隔 22.5° 取一个风向,共16个风向,亦即按照N、NNE、...、NNW共16个风向统计风电场工程长期气象参证站C站的实测年X年与代表年D年逐月风向频率,并据此绘制相应风向玫瑰图;统计空冷电厂工程长期气象参证站C站的实测年X年与典型年D年或近10年各年逐月风向频率,并据此绘制相应风向玫瑰图;

[0046] (2)以直角坐标系原点为中心,将风电场或空冷电厂工程长期气象参证站C站的X年逐月风向玫瑰图逐一按顺时针作整体偏转j个角度单位($j=0,1,\dots,15$),分别将偏转后的风向玫瑰图与D年或 Y_i 年($i=1,2,\dots,10$)中各年逐月风向玫瑰图进行比较,计算各偏转角度对应的差异性指标,得出各对应风向玫瑰图最为相似的相应最佳偏转角度 δ ;

[0047] (3)将得到的长期气象参证站C站的上述逐月最佳偏转角度 δ ,用于对风电场或空冷电厂工程地点的临时气象观测站F站的对应月份的逐小时实测风向数据进行订正,从而获得风电场或空冷电厂F站D年或 Y_i 年($i=1,2,\dots,10$)中各年逐小时风向的订正数据。

[0048] 风向玫瑰图相似性的评判方法:

[0049] 下面以推求风电场工程场址代表年为例,阐述偏转前后风向玫瑰图相似性评判标准的优选过程,空冷电厂工程的典型年和近10年各年风向的偏转评判标准与此相同,不再赘述。

[0050] 首先,定义两个二维数组:

- [0051] $D_{sc}(0, i)$ ——长期气象参证站实测年第*i*方向的风向频率($i=1, 2, \dots, 16$);
 [0052] $D_{dc}(0, i)$ ——长期气象参证站代表年第*i*方向的风向频率($i=1, 2, \dots, 16$);
 [0053] 将长期气象参证站实测年各风向频率 $D_{sc}(0, i)$ 顺时针偏转j个角度单位, 每个角度单位为 22.5° , 则偏转后的风向玫瑰图第*i*风向风向频率为:

$$[0054] D_{sc}(j, i) = \begin{cases} D_{sc}(0, i-j+16) & i \in [1, j] \\ & j=0, 1, \dots, 15 \\ D_{sc}(0, i-j) & i \in [j+1, 16] \end{cases} \quad (1)$$

- [0055] 分别定义两类评判函数——离差类评判函数和面积类评判函数, 选择其中一种用作评判实测年风向偏转后的风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图的相似性;
 [0056] 利用离差类函数方法判断相似性: 计算实测年风向顺时针偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 的各类离差和, 如式(2)~(10)所示, 选择其中一种即可计算:

$$[0057] (1) \text{ 函数1: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} |D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)| \quad (2)$$

- [0058] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 的绝对离差和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0059] (2) \text{ 函数2: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} [D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)]^2 \quad (3)$$

- [0060] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 的离差平方和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0061] (3) \text{ 函数3: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} D_{dc}(0, i) \times |D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)| \quad (4)$$

- [0062] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以 $D_{dc}(0, i)$ 为权重的绝对离差和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0063] (4) \text{ 函数4: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} D_{dc}(0, i) \times [D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)]^2 \quad (5)$$

- [0064] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以 $D_{dc}(0, i)$ 为权重的离差平方和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0065] (5) \text{ 函数5: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} \{D_{dc}(0, i) \times [D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)]\}^2 \quad (6)$$

- [0066] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以 $D_{dc}^2(0, i)$ 为权重的离差平方和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0068] (6) \text{ 函数6: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} [D_{sc}(j, i) \cdot D_{dc}(0, i)] \times |D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)| \quad (7)$$

- [0069] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转j个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以“ $D_{sc}(0, i-j) \cdot D_{dc}(0, i)$ ”为权重的绝对离差和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0070] (7) \text{ 函数7: } F(j) = \sum_{i=1}^{16} [D_{sc}(j, i) \cdot D_{dc}(0, i)] \times [D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)]^2 \quad (8)$$

[0071] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转 j 个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以 “ $D_{sc}(0, i-j) \cdot D_{dc}(0, i)$ ” 为权重的离差平方和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0072] (8) \text{ 函数 } 8: F(j) = \sum_{i=1}^{16} |D_{sc}^2(j, i) - D_{dc}^2(0, i)| \quad (9)$$

[0073] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转 j 个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以 “ $D_{sc}(0, i-j) + D_{dc}(0, i)$ ” 为权重的绝对离差和, $j=0, 1, \dots, 15$;

$$[0074] (9) \text{ 函数 } 9: F(j) = \sum_{i=1}^{16} [D_{sc}(j, i) + D_{dc}(0, i)] \times [D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)]^2 \quad (10)$$

[0075] 上式中, $F(j)$ ——实测年风向偏转 j 个角度单位后各方向风向频率 $D_{sc}(j, i)$ 与代表年风向频率 $D_{dc}(0, i)$ 以 “ $D_{sc}(0, i-j) + D_{dc}(0, i)$ ” 为权重的离差平方和, $j=0, 1, \dots, 15$;

[0076] 面积类函数: 考察实测年风向偏转后各方向风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图重叠部分的面积, 即计算实测年偏转后的风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图重叠部分的面积。本发明采用了如下4个简化公式作为评判函数:

$$[0077] (1) \text{ 函数 } 10: A(j) = \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \sum_{i=1}^{16} [r(j, i) \times r(j, i+1)] \quad (11)$$

[0078] 上式中, $A(j)$ ——实测年风向偏转 j 个角度单位后风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图的重叠面积, $j=0, 1, \dots, 15$, 下同;

[0079] $r(j, i)$ ——实测年风向偏转 j 个角度单位后第 i 风向的重叠部分的频率, 取 $r(j, i) = \min\{D_{sc}(j, i), D_{dc}(0, i)\}$, 下同;

$$[0080] (2) \text{ 函数 } 11: A(j) = \frac{\pi}{16} \sum_{i=1}^{16} [r(j, i)]^2 \quad (12)$$

$$[0081] (3) \text{ 函数 } 12: A(j) = \frac{\pi}{64} \sum_{i=1}^{16} [r(j, i) + r(j, i+1)]^2 \quad (13)$$

$$[0082] (4) \text{ 函数 } 13: A(j) = \frac{\pi}{16} \sum_{i=1}^{16} [r(j, i)r(j, i+1)] \quad (14)$$

[0083] 相似性评判方法:

[0084] 离差类函数评判方法: 对于离差类函数, 采用式(15)得出实测年风向玫瑰图和代表年风向玫瑰图最相似相应的最佳偏转角度 δ :

[0085] $\delta = 22.5^\circ \times j^*, j^* \in \{j^* | F(j^*) = \min\{F(j)\}, j=0, 1, \dots, 15\}$ (15) 式中, δ —最佳偏转角度, j^* —最佳偏转角度单位, $F(j)$ —某一离差类函数;

[0086] 上式表明, 实测年风向玫瑰图整体顺时针偏转 j^* 个角度单位后, 各方向风向频率与代表年风向频率的某类离差和达到最小, 即认为在偏转 δ 角度后, 实测年风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图最为相似。

[0087] 面积类函数评判方法:

[0088] 对于面积类函数, 采用式(16)得到实测年风向玫瑰图和代表年风向玫瑰图最相似相应的最佳偏转角度 δ :

[0089] $\delta = 22.5^\circ \times j^*, j^* \in \{j^* | A(j^*) = \max\{A(j)\}, j=0, 1, \dots, 15\}$ (16) 式中, $A(j)$ —某一面积类函数; 其余符号含义同上。

[0090] 上式表明, 实测年风向玫瑰图整体顺时针偏转 j^* 个角度单位后, 与代表年风向玫

瑰图的重叠面积最大,即认为在偏转 δ 角度后,实测年风向玫瑰图与代表年风向玫瑰图最为相似。

[0091] 评判方法的优选:为了更直观地表示实测年风向玫瑰图和代表年风向玫瑰图的偏转程度,进一步采用最佳偏转角度单位的另一种表达形式,按下式取值:

$$[0092] K = \begin{cases} j^* & j^* \leq 8 \\ j^* - 16 & j^* > 8 \end{cases} \quad (17)$$

[0093] 式中,K—以正负号形式表示的最佳偏转角度单位,顺时针为正、逆时针为负。

[0094] 采用长期气象参证站大量的实测风向数据,对上述评判标准作进一步优选,主要结论如下:

[0095] (1)分别采用“式(4)~式(8)+式(15)的组合”、“式(11)、式(13)~式(14)+式(16)的组合”,计算出的许多月份的最佳偏转角度K值达到 ± 5 、 $\pm 6 \dots \pm 8$ 。一般而言,这不符合长期气象参证站各年间对应月的风向频率分布相对稳定的特点;

[0096] (2)分别采用“式(2)~式(3)、式(10)+式(15)的组合”,计算出的许多月份的最佳偏转角度K值均为0,这也不甚符合实际,其原因在于没有考虑主导风向或次主导风向的权重或权重考虑不当;

[0097] (3)采用“式(9)+式(15)的组合”考虑了赋予主导风向适当的权重,采用“式(12)+式(16)的组合”计算的重叠面积较为精确,从实际计算效果来看,这两种评判方法相对稳健,不受个别突兀风向频率的干扰,得出的最佳偏转角度较为合理。

[0098] 因此,本发明推荐“式(9)+式(15)的组合”、“式(12)+式(16)的组合”计算长期气象参证站实测年风向相对于代表年风向的最佳偏转角度。

[0099] 当采用式(9),即函数8时,考虑到式(1),可对式(9)作进一步展开:

$$[0100] F(j) = \sum_{i=1}^{16} [D_{sc}(j, i) + D_{dc}(0, i)] \times |D_{sc}(j, i) - D_{dc}(0, i)| \\ = \sum_{i=1}^j |D_{sc}^2(0, i-j+16) - D_{dc}^2(0, i)| + \sum_{i=j+1}^{16} |D_{sc}^2(0, i-j) - D_{dc}^2(0, i)| \quad (18)$$

[0101] 综上,本发明推荐的两类风向玫瑰图相似性最佳偏转角度 δ 的函数表达汇总如下:

[0102] (1)离差相似性方法:风向玫瑰图相似性最佳偏转角 δ 按式(19)计算:

[0103]

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = 22.5^\circ \times j^*, \quad j^* \in \left\{ j^* \mid F(j^*) = \min\{F(j)\}, j=0,1,\dots,15 \right\} \\ F(j) = \sum_{i=1}^j |D_{sc}^2(0, i-j+16) - D_{dc}^2(0, i)| + \sum_{i=j+1}^{16} |D_{sc}^2(0, i-j) - D_{dc}^2(0, i)| \end{array} \right. \quad (19)$$

[0104] (2)面积相似性方法:风向玫瑰图相似性最佳偏转角 δ 按式(20)计算:

[0105]

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = 22.5^\circ \times j^*, \quad j^* \in \left\{ j^* \mid A(j^*) = \max \{A(j)\}, j=0,1,\dots,15 \right\} \\ A(j) = \frac{\pi}{16} \sum_{i=1}^{16} [r(j, i)]^2 \end{array} \right. \quad (20)$$

[0106] 下面给出的算例是F风电场实测年风向订正为代表年风向。

[0107] 拟建F风电场场址中央树有一座70m高测风塔,于70m等高度处安装有测风设备。按规范[1]对测风资料进行验证,整理出2005年一整年逐小时测风数据,取验证后的70m高度风向数据计算分析。

[0108] 长期气象站C属于国家基本气象站,与F风电场距离最近,处于同一气候区,可以作为风电场工程的气象参证站。据气象站C近30年实测风速资料分析,1998年为距今最近的平均风速与多年平均风速最接近的年份,可以认作当地风资源评估的代表年。

[0109] 应用上文推荐的实测年和代表年风向玫瑰图相似性评判方法,并按方位偏转法订正步骤,将风电场实测年风向订正为代表年风向,进而对订正成果进行与风向相关的风资源特征统计分析。

[0110] 风向玫瑰图相似性评判

[0111] 长期站各月风向频率统计,采用逐小时风向数据,按N、NNE、...、NNW共16个风向,统计C长期气象参证站的2005实测年与1998代表年逐月风向频率,并据此绘制C长期气象参证站2005年和1998年各月风向玫瑰图(图1)。最佳偏转角度的推求

[0112] 分别应用上文研究推荐的两类风向玫瑰图相似性评判方法,推求C长期气象参证站实测年(2005年)相对于代表年(1998年)相似性的最佳偏转角度,成果列于表1。

[0113] 表1 长期气象参证站C各月代表年与实测年风向最佳偏转角度单位K值

[0114]

月份 方法	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	离差相似性方法	1	0	-1	0	1	1	-1	1	0	1	0
面积相似性方法	1	0	-1	0	1	1	-1	1	0	1	0	0

[0115] 由上表可见:

[0116] (1)对于本算例,离差相似性和面积相似性评判方法得出的最佳偏转角度完全相同;

[0117] (2)长期气象参证站C的实测年(2005年)与代表年(1998年)相比,1月、5月、6月、8月以及10月均需顺时针偏转1个角度单位(22.5°),3月、7月需逆时针偏转1个角度单位(- 22.5°),其余月份则无需偏转。

[0118] 1月、3月、5月、6月、7月、8月以及10月按表1给出的偏转角度偏转后的实测年和代表年风向玫瑰图见图2。

[0119] 风向订正与成果分析

[0120] 订正说明:对于2005年与1998年同月风向频率分布,假定F风电场气象站与C长期气象参证站具有相似的整体方位偏转量。如此即将C长期气象参证站的上述两年间同月风向频率整体方位偏转量直接用于F风电场气象站2005年各月风向偏转订正,得出F风电场气象站代表年逐小时的风向数据。

[0121] 潘晓春.测风数据风速订正的概率分布转移法研究[R].2014,推演出测风数据订正的概率分布转移法,下文采用2005年逐小时实测风速、同差值概率分布转移法订正风速分别与2005年逐小时实测风向和本文提出的代表年订正风速进行组合(详见表2),得出4套一整年风速风向数据,并据此进行相应要素的统计分析。

[0122] 表2 F风场站实测年与代表年风速风向组合系列表

[0123]

风速风向组合系列名称	风速	风向
SCFS+SCFX	2005实测年风速	2005实测年风向
SCFS+DZFX	2005实测年风速	代表年订正风向
GLZY_TCZ+SCFX	同差值概率分布转移法订正风速	2005实测年风向
GLZY_TCZ+DZFX	同差值概率分布转移法订正风速	代表年订正风向

[0124] 风向频率:分别统计F风场站实测2005年和订正后的代表年逐小时风向资料,成果见表3和图3。表3为F风场站2005实测年和代表年订正风向频率统计表。

[0125] 表3 单位:%

[0126]

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
实测风频	4.64	6.25	6.19	8.16	6.10	7.63	10.52	10.73	8.77	6.54	4.50	3.80	3.28	3.64	4.10	5.06
订正风频	5.40	5.51	6.82	7.33	6.38	7.04	8.24	11.97	11.0	7.69	4.10	3.38	3.04	3.68	3.80	4.61

[0127] 由上图可见,相对于2005实测年,F风场站代表年风向有沿顺时针旋转,进一步偏转向南的倾向。

[0128] 分风向平均风速:表4为各法订正成果分风向平均风速成果统计表。

[0129] 表4 单位:m/s

[0130]

风 向 订正方法	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
SCFS+SCFX	7.44	7.07	7.23	7.12	6.67	6.97	7.19	7.60
SCFS+DZFX	7.05	7.71	7.26	7.04	6.60	6.78	6.80	7.45
GLZY_TCZ+SCFX	7.72	7.33	7.51	7.38	6.89	7.22	7.47	7.92
GLZY_TCZ+DZFX	7.30	8.02	7.53	7.29	6.82	7.01	7.04	7.75

[0131] 续表4

[0132]

风 向 订正方法	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
SCFS+SCFX	6.89	6.44	6.19	5.54	5.61	6.30	6.53	7.18
SCFS+DZFX	7.60	6.61	5.48	5.45	5.67	6.26	6.57	6.93

[0133]

GLZY_TCZ+SCFX	7.14	6.65	6.38	5.67	5.76	6.50	6.74	7.45
GLZY_TCZ+DZFX	7.91	6.83	5.62	5.58	5.82	6.46	6.80	7.17

[0134] 据上表数据绘制图4。由表4、图4可见,对于各风向平均风速,与未进行风向订正相比,在S、NNE等风向的平均风速变大,而在SW、N等风向的平均风速则变小。

[0135] 风能的方向分布:风能密度 D_{WE} 按下式计算:

$$[0136] D_{WE} = \frac{\rho}{2} \sum_{j=1}^m v_j^3 t_j \quad (\text{W} \cdot \text{h/m}^2) \quad (21)$$

[0137] 式中:m——风速区间记录数;

[0138] t_j ——某扇区或全方位第j个风速区间的风速发生时间,h。

[0139] 计算16个风向(扇区)风能密度,风能密度方向分布为各扇区的风能密度与全方位总风能密度的百分比,简称为“风能方向分布”。各法订正成果风能方向分布成果见表5。表5为各法订正成果风能方向分布统计表。

[0140] 表5 单位:%

[0141]

订正方法\风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
SCFS+SCFX	5.07	6.46	7.59	9.59	5.95	7.36	12.00	14.12
SCFS+DZFX	5.29	7.50	8.45	8.29	5.34	6.01	7.57	14.67
GLZY_TCZ+SCFX	5.06	6.46	7.68	9.68	5.95	7.32	12.10	14.29
GLZY_TCZ+DZFX	5.28	7.50	8.54	8.38	5.34	5.97	7.67	14.84

[0142] 续表5

[0143]

订正方法\风向	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
SCFS+SCFX	8.13	5.31	3.11	2.02	1.75	2.74	3.41	5.32
SCFS+DZFX	14.29	6.24	2.20	1.73	1.71	2.70	3.50	4.47
GLZY_TCZ+SCFX	8.06	5.25	3.04	1.96	1.68	2.69	3.37	5.32
GLZY_TCZ+DZFX	14.22	6.18	2.13	1.67	1.64	2.65	3.46	4.47

[0144] 据上表数据绘制图5。由表5、图5可见,当采用同一风向序列时,虽然风速序列不同,但其风能方向分布是相近的;与实测年相比风能分布相比,当经风向订正后,主要风能方向有沿顺时针旋转,进一步偏转向南的倾向,主能风向虽依然为SSE,但次主能方向则由SE变为S向。

[0145] 本发明通过探寻合理可靠的数学模型,来评判长期气象参证站待求年份(代表年、典型年或最近10年中的某年)与实测年在风向频率分布上的定量差异,为将工程点实测年的风向订正成待求年份的风向序列提供了依据。

[0146] 多数情况下,代表工程所在地区长期气象参证站平均风况的代表年(或典型年)各月风向频率可由当地气候统计资料中获取,无需通过搜集长期站大量的逐小时风向数据统计求得,因而风向订正的方位偏转法操作简便、易于施行。

[0147] 当应用本发明提出的风向订正的方位偏转法反演重建空冷气象所需的最近10年

和典型年风况数据时,只需将式(19)、式(20)中的代表年长期气象参证站风向频率替换为所需反演重建对应年份的风向频率即可。另需注意的是,空冷气象以当地长期气象参证站多年平均气温而非风速来选取确定典型年。

[0148] 上已以较佳实施例公开了本发明,然其并非用以限制本本发明,凡采用等同替换或者等效变换方式所获得的技术方案,均落在本发明的保护范围之内。

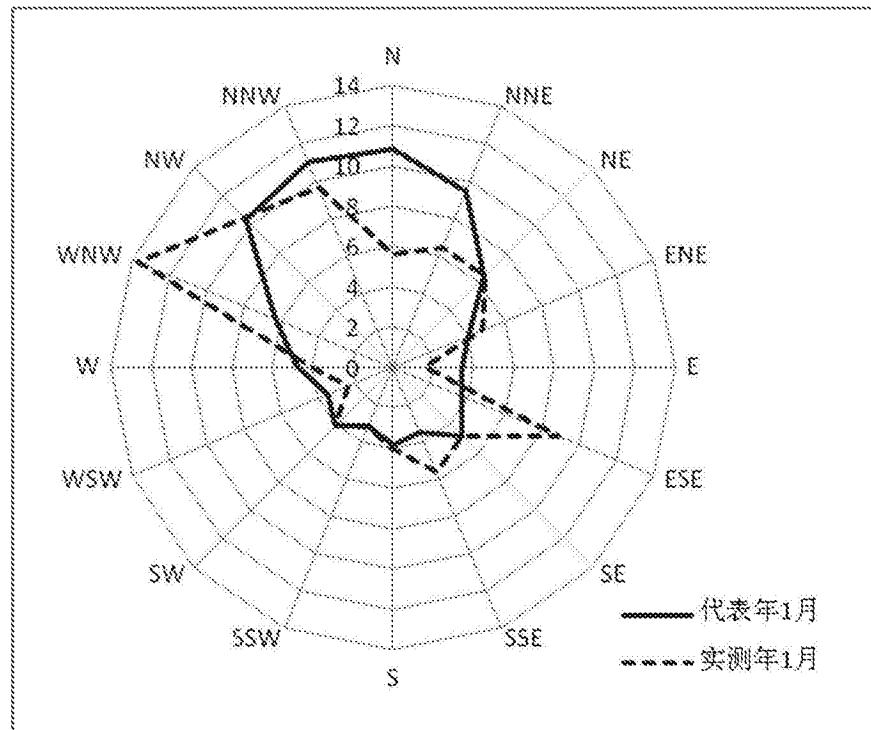


图1-1

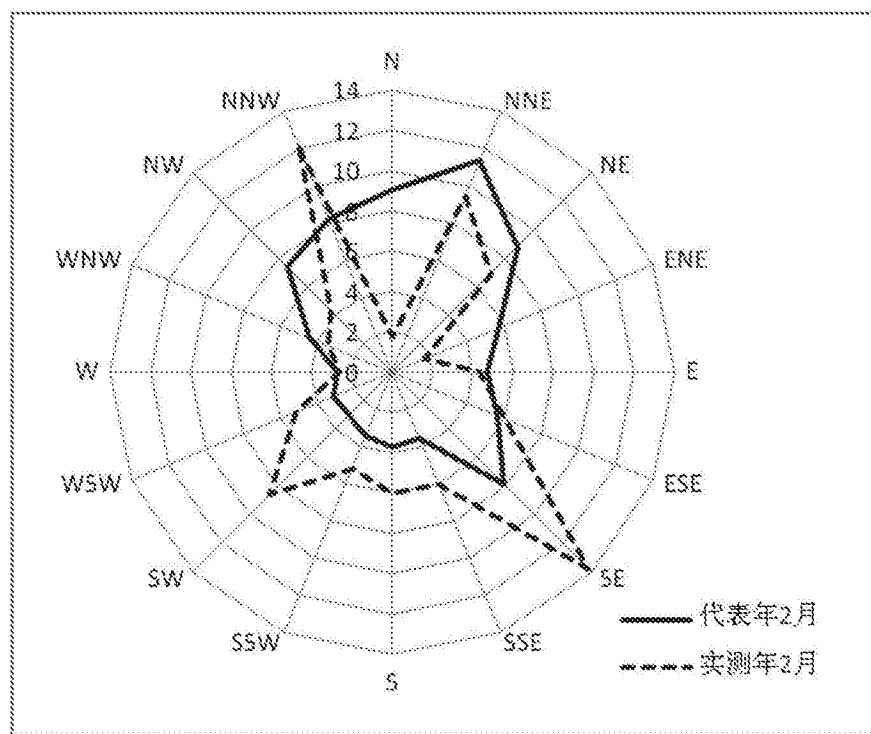


图1-2

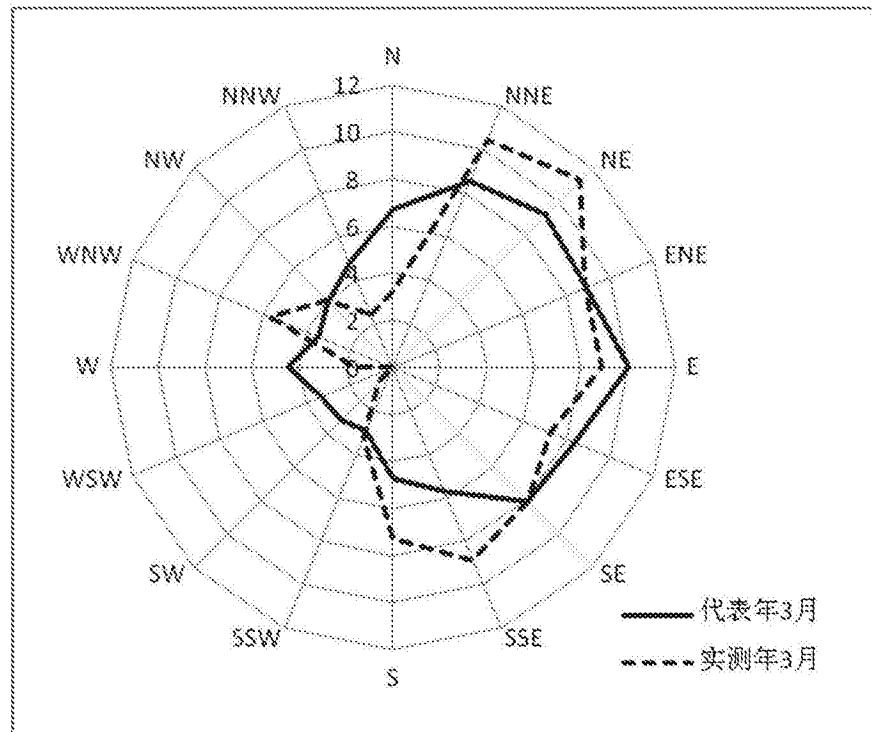


图1-3

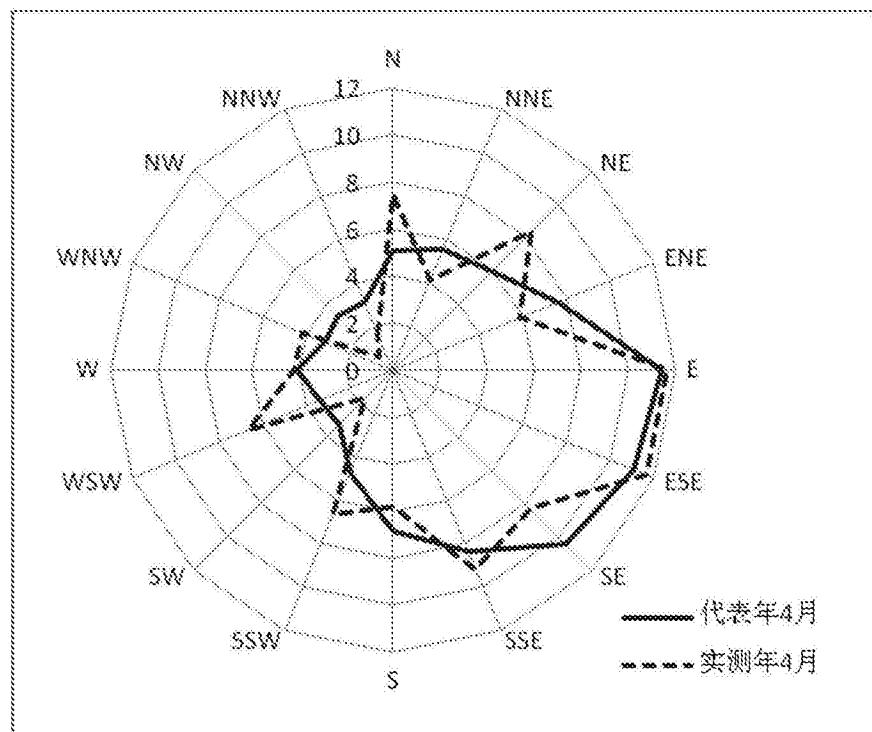


图1-4

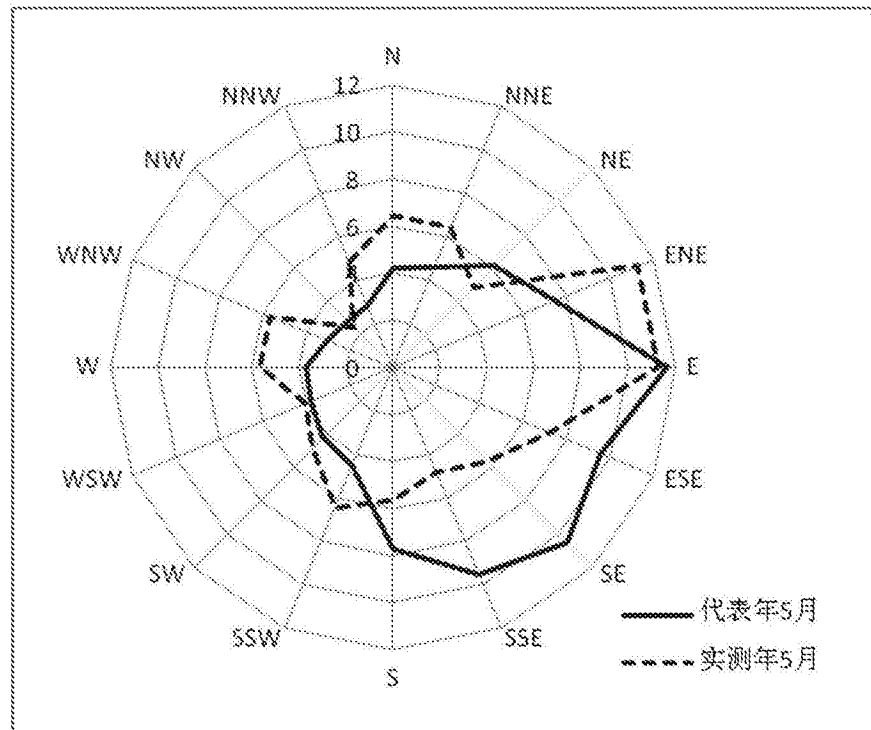


图1-5

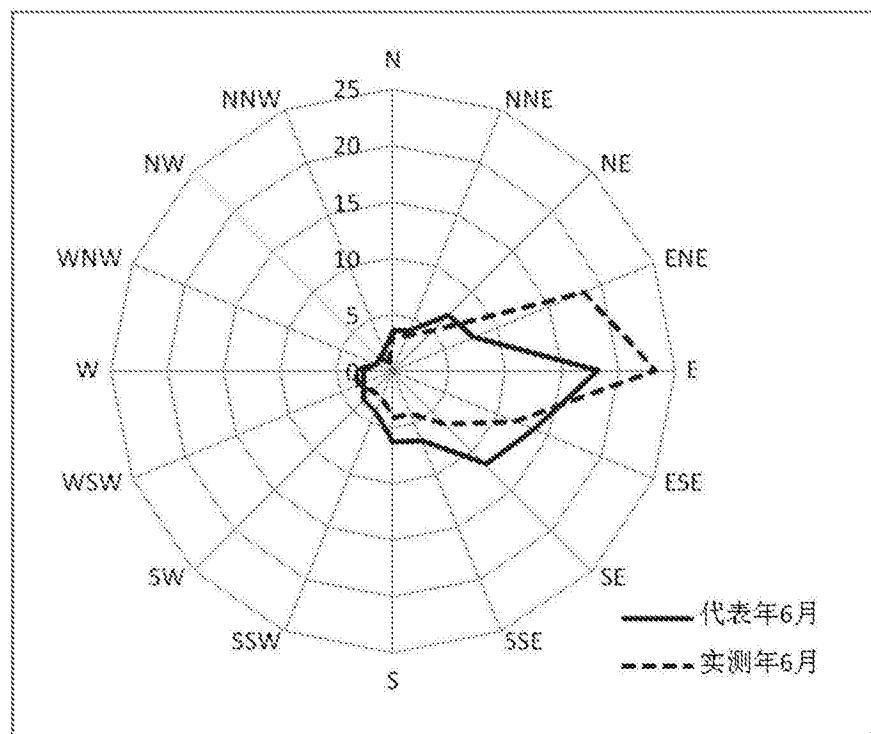


图1-6

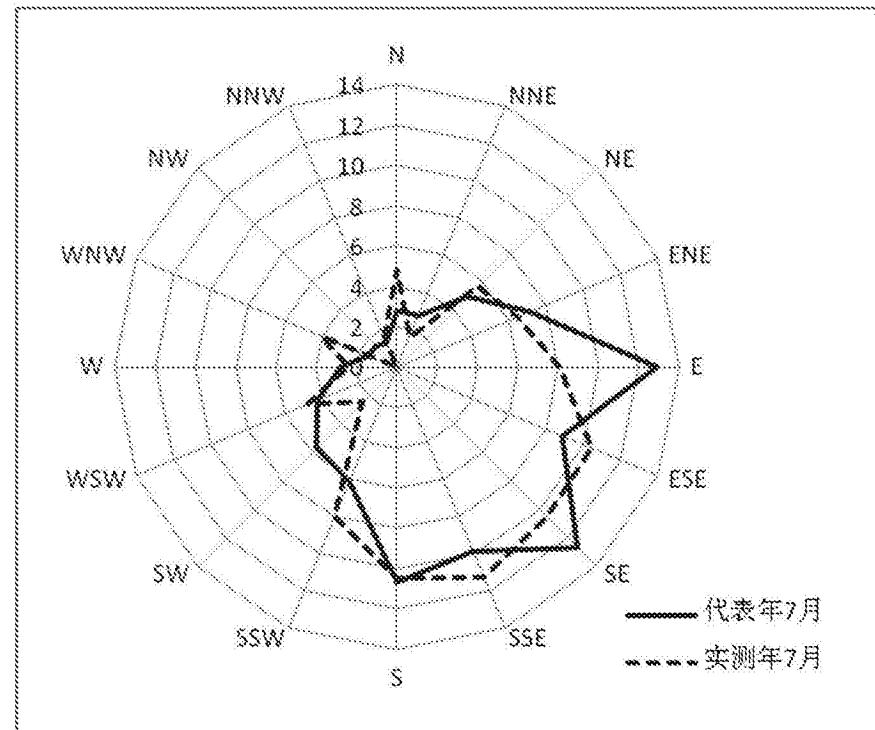


图1-7

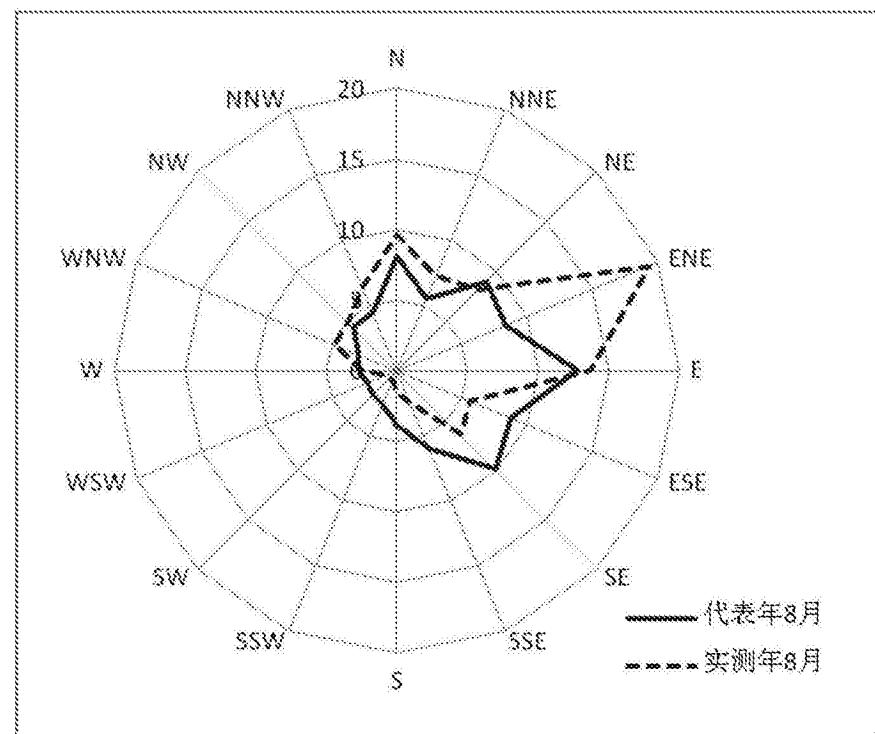


图1-8

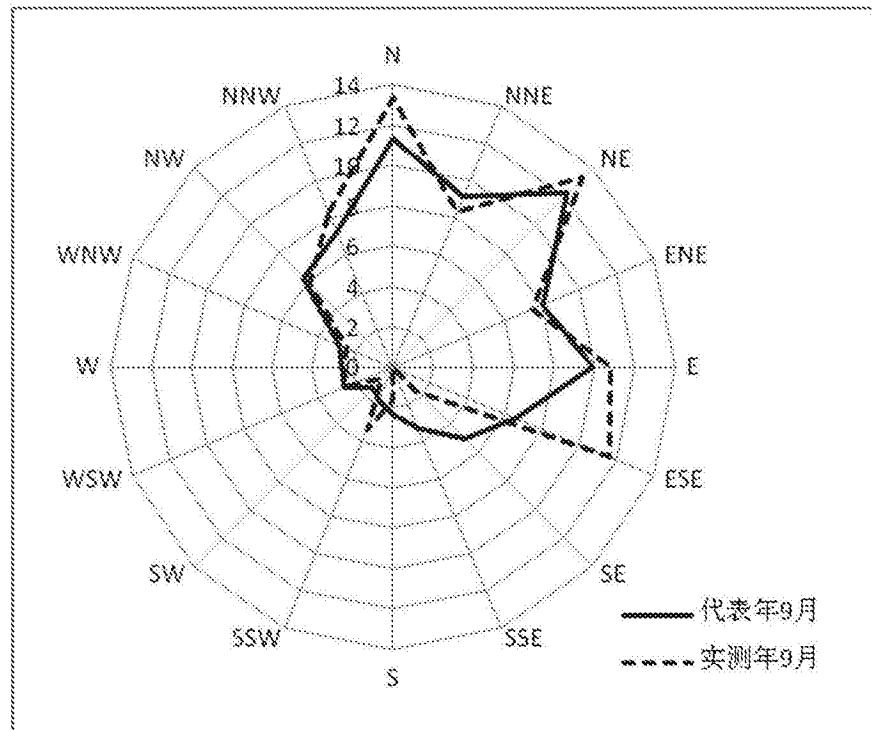


图1-9

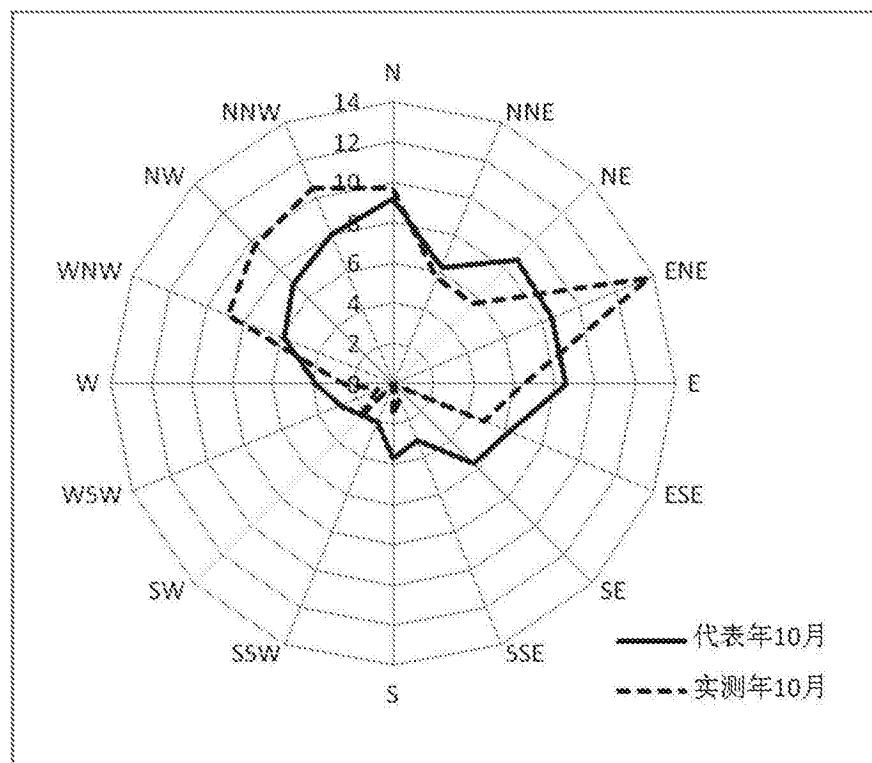


图1-10

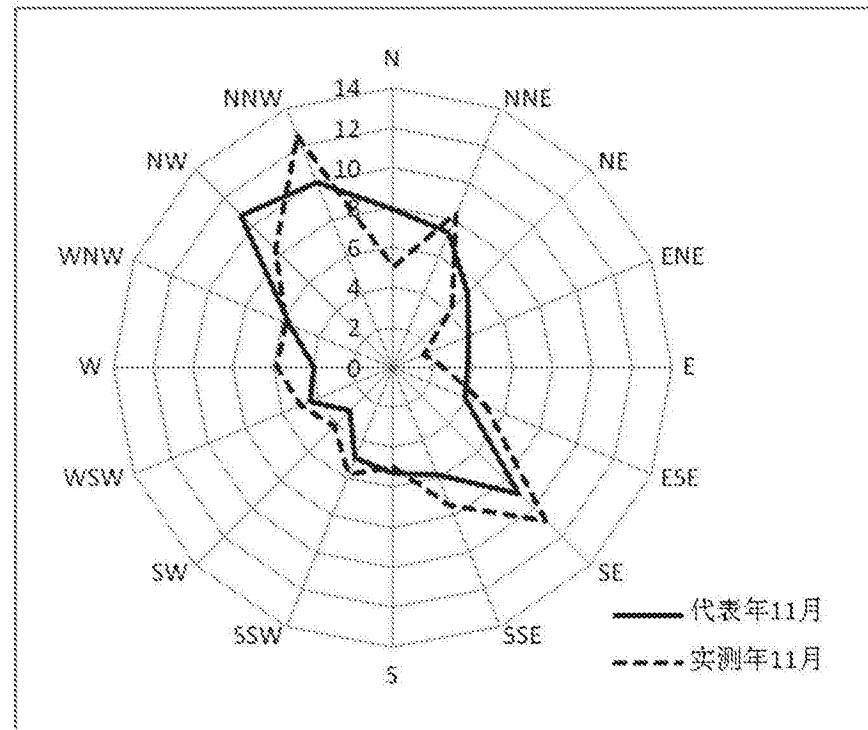


图1-11

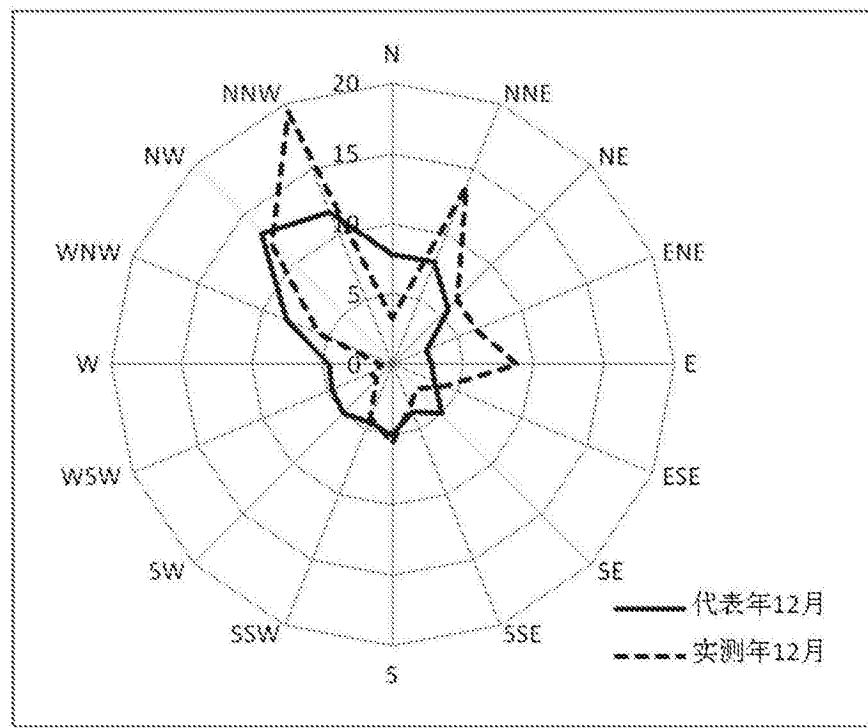


图1-12

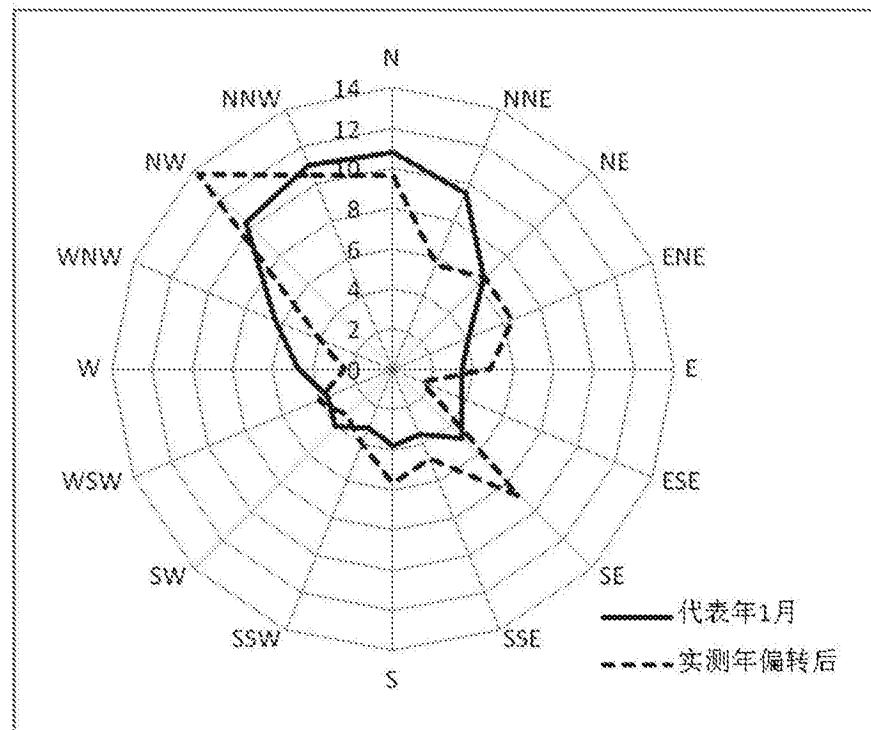


图2-1

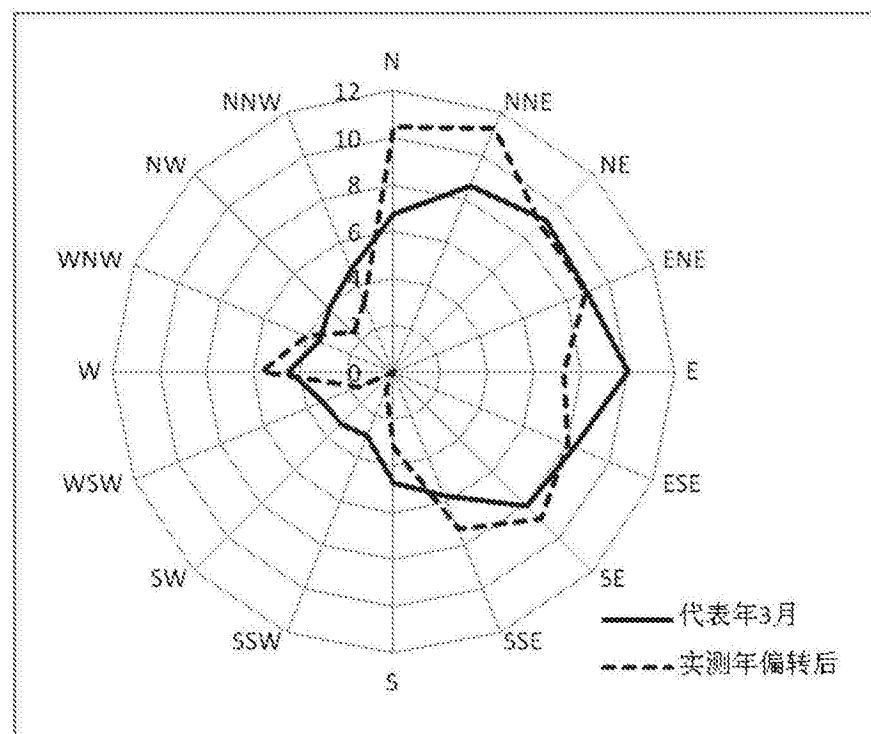


图2-2

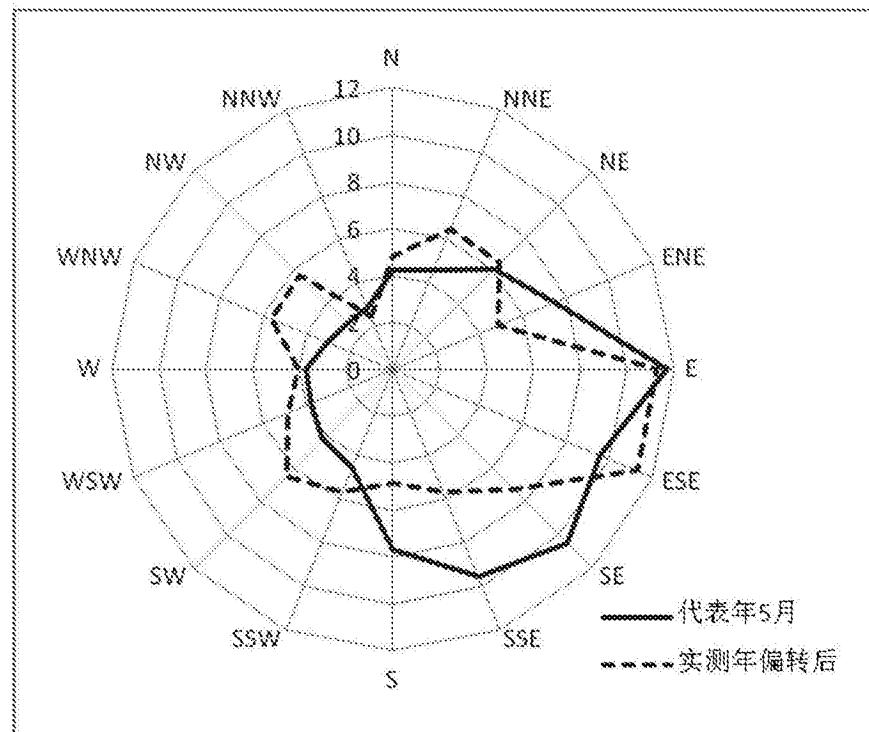


图2-3

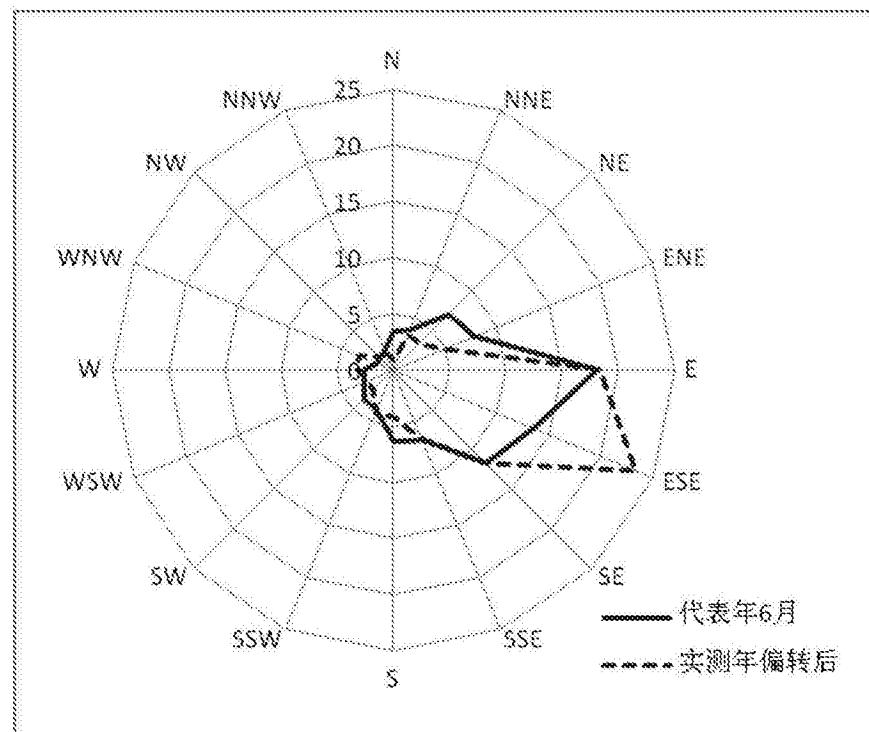


图2-4

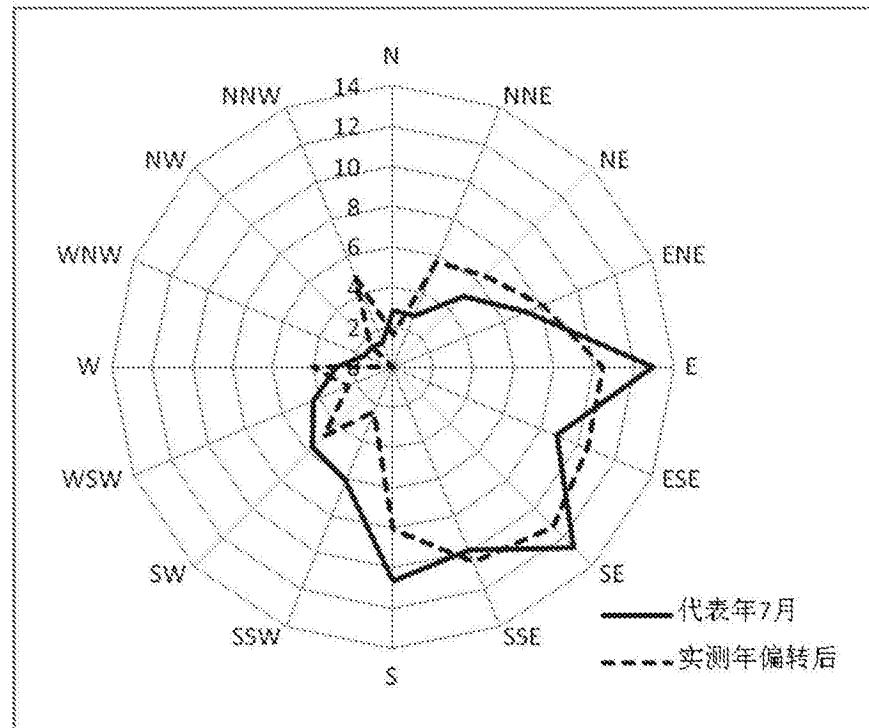


图2-5

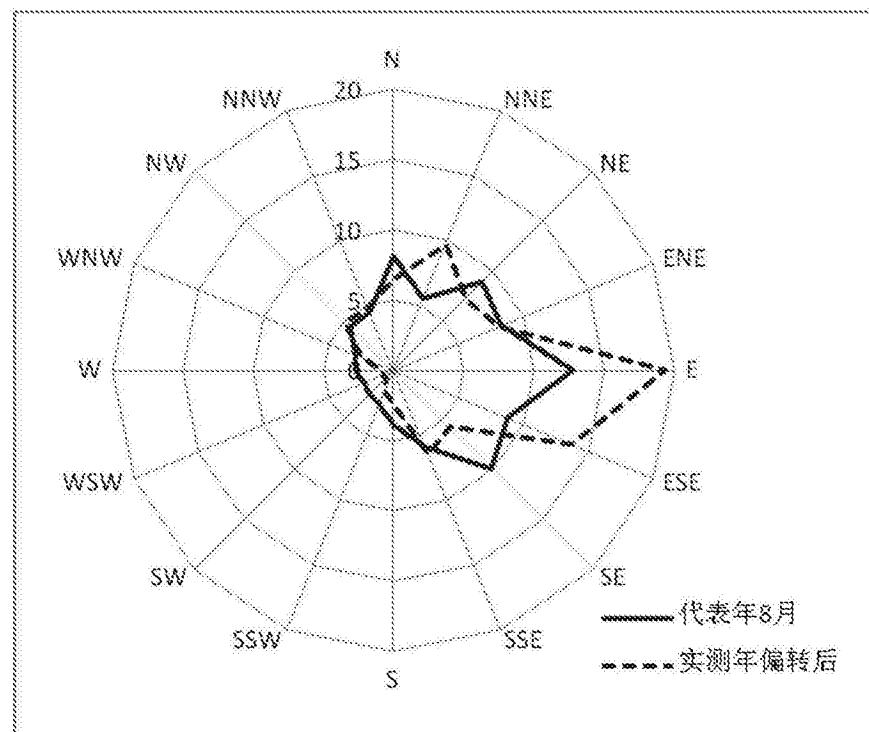


图2-6

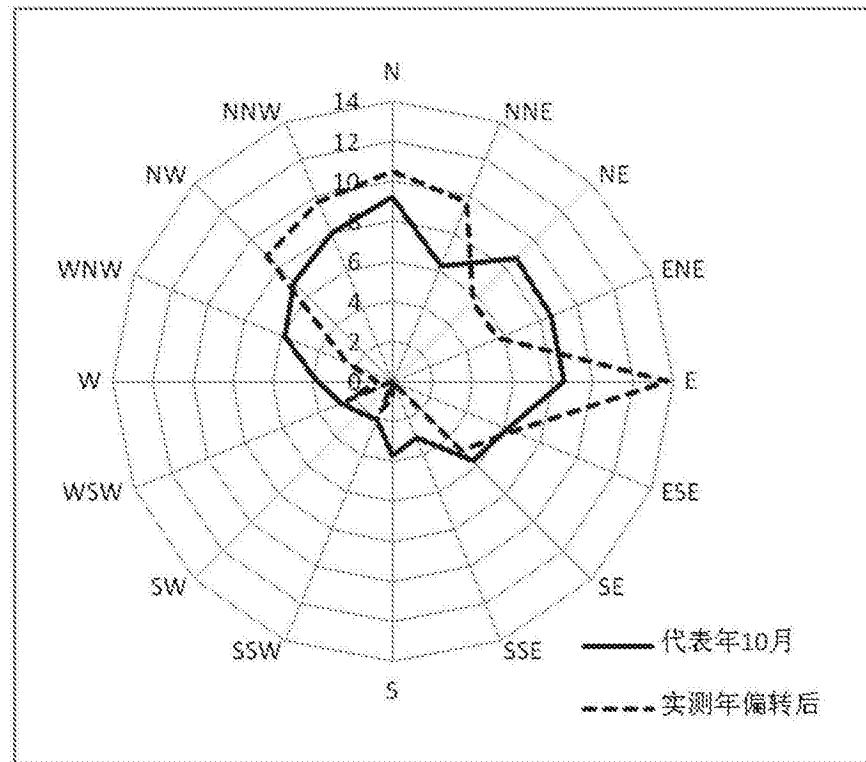


图2-7

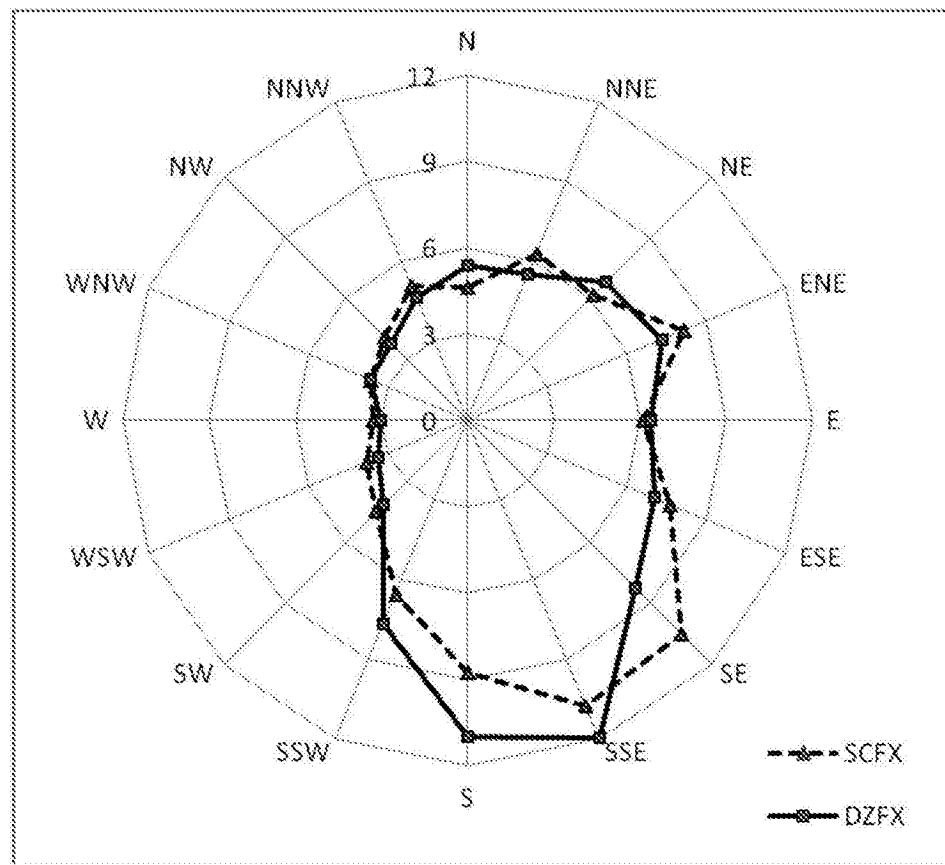


图3

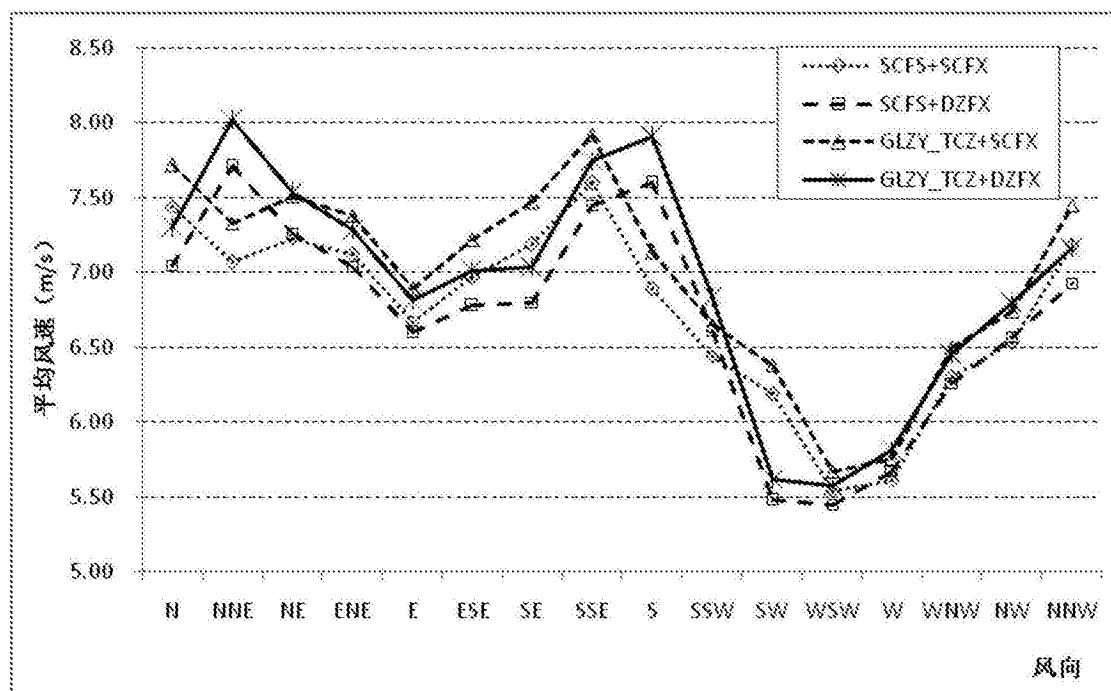


图4

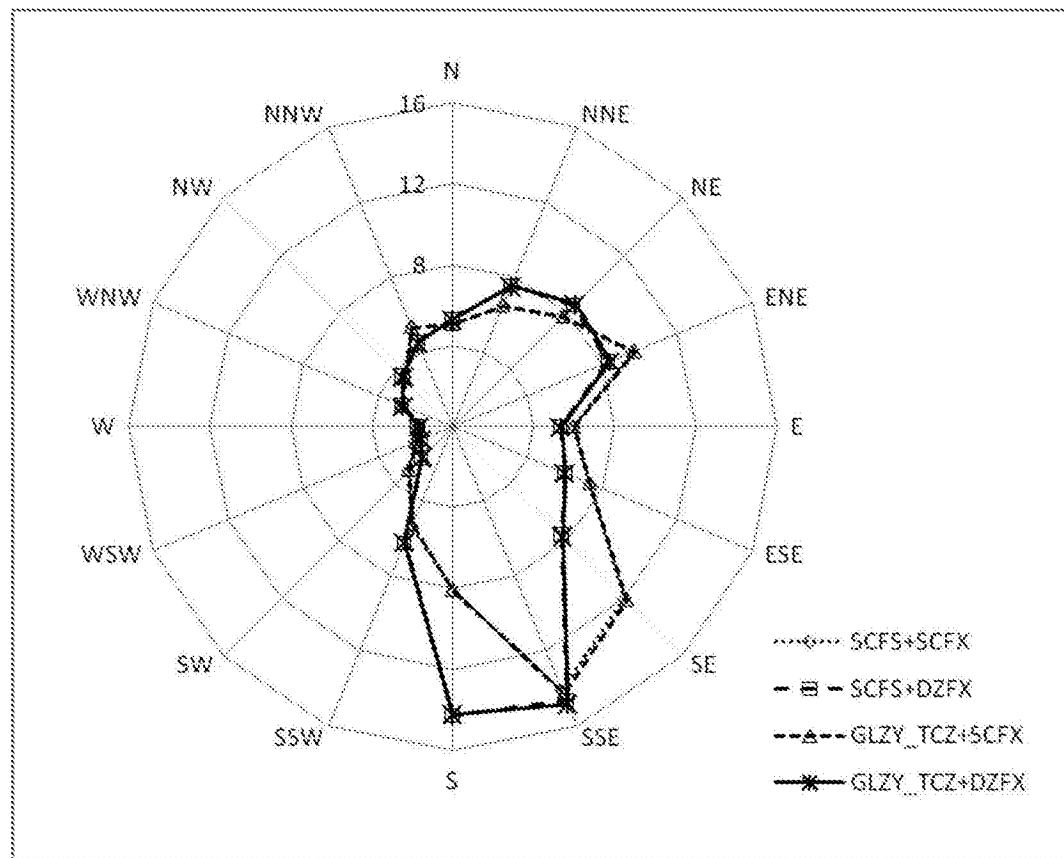


图5