



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110308304 A  
(43)申请公布日 2019.10.08

(21)申请号 201910566073.X

(22)申请日 2019.06.27

(71)申请人 湘电风能有限公司

地址 411101 湖南省湘潭市吉安路68号

申请人 湘潭电机股份有限公司

(72)发明人 曹俊伟 黄凌翔 张硕望

(74)专利代理机构 湘潭市汇智专利事务所(普通合伙) 43108

代理人 乌景瑞

(51) Int. Cl.

G01P 13/02(2006.01)

G01P 21/00(2006.01)

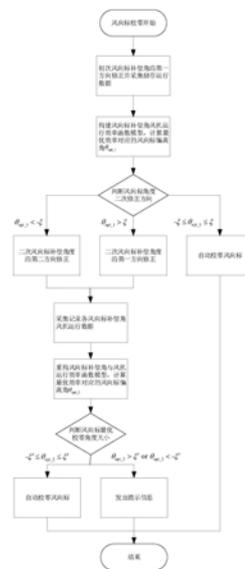
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种风力发电机组风向标校零方法

(57)摘要

本发明公开了一种风力发电机组风向标校零方法,包括以下步骤:1)风电机组进入风向标校零模式;2)调整风向标角度补偿,采集并记录风机运行数据;3)初次构建风机运行效率模型并计算最优效率对应的风向标修正角度;4)依据步骤3)计算结果判断二次风向标角度补偿方向,再次调整风向标角度补偿,采集并记录风机运行数据;5)重构风机运行效率模型并计算最优效率对应的风向标修正角度;6)依据步骤5)计算结果对风向标进行自动校零或发出提示信息。本发明充分考虑风向标零位与机舱轴线产生夹角时对风电机组发电效率的影响,能使风机持续运行在最优出力状态,减少运维人员的工作强度和安全风险,保障风电机组的运行效率和发电收益。



CN 110308304 A

1. 一种风力发电机组风向标校零方法,包括以下步骤:
  - 1) 使得风电机组进入风向标校零模式,开始进行风向标校零;
  - 2) 调整风向标角度补偿,采集并记录风机运行数据;
  - 3) 初次构建风机运行效率模型,并计算最优效率对应的风向标修正角度;
  - 4) 依据步骤3) 计算的结果判断二次风向标角度补偿方向,再次调整风向标角度补偿,采集并记录风机运行数据;
  - 5) 重构风机运行效率模型,并计算最优效率对应的风向标修正角度;
  - 6) 依据步骤5) 计算结果对风向标进行自动校零或发出提示信息。
2. 根据权利要求1所述的风力发电机组风向标校零方法,所述步骤1) 中,按照指定时间周期 $T_1$ 定期或单次执行风向标校零任务;当风电机组执行风向标校零任务时,使得风电机组进入风向标校零模式。
3. 根据权利要求1所述的风力发电机组风向标校零方法,所述步骤2) 的具体操作如下:
  - 2.1) 将风电机组风向标补偿角度置为 $0^\circ$ ;
  - 2.2) 运行数据采集模块按照给定数据采集周期 $T_2$ 采集风机实时运行数据并记录至数据储存模块中,采集数据包括:轮毂转速 $\omega_{rot}$ 、机舱风速 $V_w$ 、风机功率限幅值 $P_{lim}$ 、风机状态 $K_{st}$ 、偏航对风误差角 $\theta_{err}$ 、风向标偏置角 $\theta_{os}$ 、空气密度 $\rho$ ;
  - 2.3) 数据计算模块将以上采集数据按给定计算周期 $T_3$ 计算一次均值并记录至数据储存模块中;
  - 2.4) 当风机运行状态及运行环境满足给定要求时,数据计算模块将步骤2.3) 中计算结果记录至数据储存模块中,并跟据风机运行状态和环境参数计算风机发电效率;
  - 2.5) 多次重复2.3) -2.4),记录得到该风向标补偿角的多组风机运行数据。
  - 2.6) 风机风向标按照指定间隔沿第一方向分别进行风向标角度补偿,单次补偿后均按照步骤2.3) -2.5) 所述采集并记录多组数据。
4. 根据权利要求3所述的风力发电机组风向标校零方法,所述的步骤2.2) 中,采集周期为1秒;所述的步骤2.3) 中,计算周期为10分钟。
5. 根据权利要求3所述的风力发电机组风向标校零方法,所述的步骤2.4) 中,计算风机发电效率时,风机运行状态及环境需要满足的要求包括:a. 风机运行阶段为最大风能跟踪段;b. 风机处于自由运行状态;c. 风机运行在正常发电工况;d. 风机实际风向标补偿角与当前给定风向标补偿角一致;e. 偏航对风误差角在较小范围内;f. 平均湍流强度低于A类。
6. 根据权利要求3所述的风力发电机组风向标校零方法,所述的步骤2.6) 中,以风向标正方向补偿的方向为第一方向,进行风向标角度补偿时,风向标角度补偿区间为 $0^\circ \sim \theta_{fp}^\circ$ ,间隔为 $\theta_b^\circ$ ,第 $i$ 次风向标角度补偿后的风向标补偿角为: $\theta_{os} = \theta_b i \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots$ ,其中: $i$ 为风向标角度补偿次数, $\theta_{fp}$ 为给定的初次风向标补偿角度最大值。
7. 根据权利要求3所述的风力发电机组风向标校零方法,所述步骤3) 中:提取步骤2.6) 中记录的风机运行数据,依据风向标未对中机舱轴线时风机运行特点,构建风向标补偿角与风机运行效率函数模型,计算函数模型中最优运行效率对应的风向标偏离角 $\theta_{opt\_1}$ 。
8. 根据权利要求3所述的风力发电机组风向标校零方法,所述步骤4) 具体操作如下:
  - 4.1) 判断二次风向标补偿角度修正方向,当 $-\xi \leq \theta_{opt\_1} \leq \xi$ 时,直接对风向标进行校零;当 $\theta_{opt\_1} < -\xi$ 时,二次风向标补偿角度沿第二方向修正;当 $\theta_{opt\_1} > \xi$ 时,二次风向标补偿角度继

续沿第一方向修正；

4.2) 当二次风向标补偿角度沿第二方向或第一方向修正时,进行二次风向标补偿角度修正并获取二次修正风机运行数据,数据获取方法如下:

当风向标补偿角度沿第二方向修正时,按照指定间隔 $\theta_b^\circ$ 在风向标补偿角度区间 $\theta_{fp}'^\circ \sim 0^\circ$ 内进行风向标角度补偿,单次补偿后按照步骤2.3)-2.5)采集并记录数据;第n次二次风向标角度补偿后风向标补偿角度为: $\theta_{os}' = \theta_b(-n)$   $n=1,2,3,4,\dots$ ,其中:n为二次风向标角度补偿次数, $\theta_{fp}'$ 为给定的二次风向标修正角度最小值;

当风向标补偿角度沿第一方向修正时,按照指定间隔 $\theta_b^\circ$ 在风向标补偿角度区间为 $\theta_{fp}^\circ \sim \theta_{fp}''^\circ$ 内进行风向标角度补偿,单次补偿后按照步骤2.3)-2.5)采集并记录数据,第n次二次风向标角度补偿后风向标补偿角度为: $\theta_{os}'' = \theta_{fp} + \theta_b n$   $n=1,2,3,4,\dots$ ,其中:n为二次风向标角度补偿次数, $\theta_{fp}''$ 为给定的二次风向标修正角度最大值且 $\theta_{fp}'' \geq \theta_{fp}$ 。

9. 根据权利要求8所述的风力发电机组风向标校零方法,所述步骤5)中:提取步骤2)和步骤4)中记录的风机运行数据,重构风向标补偿角与风机运行效率函数模型,计算重构模型中最优运行效率对应的风向标偏离角 $\theta_{opt\_2}$ 。

10. 根据权利要求9所述的风力发电机组风向标校零方法,所述步骤6)中,当风向标偏离角 $\theta_{opt\_2}$ 在给定自动调整范围内时,自动校零风向标;否则发出预估偏差角度提示信息,人工校零偏离角度较大的风向标;

以如下公式判断自动校零风向标还是发出提示信息:

$$\theta_{opt} = \begin{cases} \theta_{opt\_2} & -\xi' \leq \theta_{opt\_2} \leq \xi' \\ \text{发出提示信息} & \theta_{opt\_2} \geq \xi' \text{ or } \theta_{opt\_2} \leq -\xi' \end{cases}$$

其中, $\theta_{opt}$ 为风向标最优校零角度, $\xi'$ 为给定的风向标自动校零角度限幅值。

## 一种风力发电机组风向标校零方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电机领域,尤其涉及一种风力发电机组风向标校零方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着风电机组装机数量不断增多,风场业主与主机厂商关注点不断从装机容量到风机运行效率转变,如何使风机在一定程度上保证最优出力,改善风机发电性能,提升风机可利用率及满发小时数具有重大的研究价值和指导意义。

[0003] 风电机组在运行一段时间后,由于风向标存在系统误差和随机误差等影响,导致风向标零位与机舱轴线发生一定的偏移,影响风机偏航控制精度,降低风机发电效能。定期通过人工校准风向标是解决该问题的有效途径,但该种方法需要大大增加人工成本且存在一定的随机误差和潜在风险。因此,通过一种自动判断并修正风向标零位的方法至关重要,也是提升风电机组发电性能的重要手段。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种能够充分考虑到风电机组设计和运行参数,能使风机持续运行在最优出力状态,减少运维人员的工作强度和安全隐患,保障风电机组的运行效率和发电收益的风力发电机组风向标校零方法。

[0005] 本发明采用的技术方案是:一种风力发电机组风向标校零方法,包括以下步骤:

[0006] 1) 使得风电机组进入风向标校零模式,开始进行风向标校零;

[0007] 2) 调整风向标角度补偿,采集并记录风机运行数据;

[0008] 3) 初次构建风机运行效率模型,并计算最优效率对应的风向标修正角度;

[0009] 4) 依据步骤3) 计算的结果判断二次风向标角度补偿方向,采集并记录风机运行数据;

[0010] 5) 重构风机运行效率模型,并计算最优效率对应的风向标修正角度;

[0011] 6) 依据步骤5) 计算结果对风向标进行自动校零或发出提示信息。

[0012] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述步骤1) 中,按照指定时间周期 $T_1$ 定期或单次执行风向标校零任务;当风电机组执行风向标校零任务时,机组进入风向标校零模式。

[0013] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述步骤2) 的具体操作如下:

[0014] 2.1) 将风电机组风向标补偿角度置为 $0^\circ$ ;

[0015] 2.2) 运行数据采集模块按照给定数据采集周期 $T_2$ 采集风机实时运行数据并记录至数据储存模块中,采集数据包括:轮毂转速 $\omega_{rot}$ 、机舱风速 $V_w$ 、风机功率限幅值 $P_{lim}$ 、风机状态 $K_{st}$ 、偏航对风误差角 $\theta_{err}$ 、风向标偏置角 $\theta_{os}$ 、空气密度 $\rho$ ;

[0016] 2.3) 数据计算模块将以上采集数据按给定计算周期 $T_3$ 计算一次均值并记录至数据储存模块中;

[0017] 2.4) 当风机运行状态及运行环境满足给定要求时,数据计算模块将步骤2.3) 中计

算结果记录至数据储存模块中,并跟据风机运行状态和环境参数计算风机发电效率;

[0018] 2.5) 多次重复2.3)-2.4),记录得到该风向标补偿角的多组风机运行数据。

[0019] 2.6) 风机风向标按照指定间隔沿第一方向分别进行风向标角度补偿,单次补偿后均按照步骤2.3)-2.5)所述采集并记录多组数据。

[0020] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述的步骤2.2)中,采集周期为1秒;所述的步骤2.3)中,计算周期为10分钟。

[0021] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述的步骤2.4)中,计算风机发电效率时,风机运行状态及环境需要满足的要求包括:a. 风机运行阶段为最大风能跟踪段;b. 风机处于自由运行状态;c. 风机运行在正常发电工况;d. 风机实际风向标补偿角与当前给定风向标补偿角一致;e. 偏航对风误差角在较小范围内;f. 平均湍流强度低于A类。

[0022] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述的步骤2.5)中,重复2.3)-2.4)的次数不低于50次;所述的步骤2.6)中,以风向标正方向补偿的方向为第一方向,进行风向标角度补偿时,风向标角度补偿区间为 $0^{\circ} \sim \theta_{fp}^{\circ}$ ,间隔为 $\theta_b^{\circ}$ 且 $\theta_b \leq \theta_{fp}$ ,第i次风向标角度补偿后的风向标补偿角为: $\theta_{os} = \theta_{bi}$   $i=1,2,3,4,\dots$ ,其中:i为风向标角度补偿次数, $\theta_{fp}$ 为给定的初次风向标补偿角度最大值。

[0023] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述步骤3)中:提取步骤2.6)中记录的风机运行数据,依据风向标未对中机舱轴线时风机运行特点,构建风向标补偿角与风机运行效率函数模型,计算函数模型中最优运行效率对应的风向标偏离角 $\theta_{opt\_1}$ 。

[0024] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述步骤4)具体操作如下:

[0025] 4.1) 判断二次风向标补偿角度修正方向,当 $-\xi \leq \theta_{opt\_1} \leq \xi$ 时,直接对风向标进行校零;当 $\theta_{opt\_1} < -\xi$ 时,二次风向标补偿角度沿第二方向修正;当 $\theta_{opt\_1} > \xi$ 时,二次风向标补偿角度继续沿第一方向修正;

[0026] 4.2) 当二次风向标补偿角度沿第二方向或第一方向修正时,进行二次风向标补偿角度修正并获取二次修正风机运行数据,数据获取方法如下:

[0027] 当风向标补偿角度沿第二方向修正时,按照指定间隔 $\theta_b^{\circ}$ 在风向标补偿角度区间 $\theta_{fp}'^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 内进行风向标角度补偿,单次补偿后按照步骤2.3)-2.5)采集并记录数据;第n次二次风向标角度补偿后风向标补偿角度为: $\theta_{os}' = \theta_b(-n)$   $n=1,2,3,4,\dots$ ,其中:n为二次风向标角度补偿次数, $\theta_{fp}'$ 为给定的二次风向标修正角度最小值;

[0028] 当风向标补偿角度沿第一方向修正时,按照指定间隔 $\theta_b^{\circ}$ 在风向标补偿角度区间为 $\theta_{fp}^{\circ} \sim \theta_{fp}''^{\circ}$ 内进行风向标角度补偿,单次补偿后按照步骤2.3)-2.5)采集并记录数据,第n次二次风向标角度补偿后风向标补偿角度为: $\theta_{os}'' = \theta_{fp} + \theta_{bn}$   $n=1,2,3,4,\dots$ ,其中:n为二次风向标角度补偿次数, $\theta_{fp}''$ 为给定的二次风向标修正角度最大值且 $\theta_{fp}'' \geq \theta_{fp}$ 。

[0029] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述步骤5)中:提取步骤2)和步骤4)中记录的风机运行数据,重构风向标补偿角与风机运行效率函数模型,计算重构模型中最优运行效率对应的风向标偏离角 $\theta_{opt\_2}$ 。

[0030] 上述的风力发电机组风向标校零方法中,所述步骤6)中,当风向标偏离角 $\theta_{opt\_2}$ 在给定自动调整范围内时,自动校零风向标;否则发出预估偏差角度提示信息,人工校零偏离角度较大的风向标;

[0031] 以如下公式判断自动校零风向标还是发出提示信息:

$$[0032] \quad \theta_{\text{opt}} = \begin{cases} \theta_{\text{opt}_2} & -\xi' \leq \theta_{\text{opt}_2} \leq \xi' \\ \text{发出提示信息} & \theta_{\text{opt}_2} \geq \xi' \text{ or } \theta_{\text{opt}_2} \leq -\xi' \end{cases}$$

[0033] 其中,  $\theta_{\text{opt}}$  为风向标最优校零角度,  $\xi'$  为给定的风向标自动校零角度限幅值。

[0034] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是:

[0035] 本发明以风电机组实时运行数据为基础, 充分考虑到风电机组运行原理和设计参数, 针对不同机型配置和机位点单独计算风机的风向标最优校零角度, 本发明能够在一定程度上提升风机发电效能, 提升风电场收益率, 同时, 大大减少运维人员出舱运维风险, 保障运维人员安全, 减轻工作任务。

## 附图说明

[0036] 图1为本发明方法实施流程图。

[0037] 图2为本发明方法原理图。

## 具体实施方式

[0038] 下面结合附图对本发明做进一步的说明。

[0039] 如图1所示, 本发明包括如下步骤:

[0040] 1) 按照指定时间周期  $T_1$  定期或指定单次执行风向标校零任务; 当风电机组执行风向标校零任务时, 使得风电机组进入风向标校零模式, 开始进行风向标校零。

[0041] 2) 调整风向标角度补偿, 采集并记录风机运行数据, 其具体操作如下:

[0042] 2.1) 将风电机组风向标补偿角度置为  $0^\circ$ ;

[0043] 2.2) 运行数据采集模块按照给定数据采集周期采集风机实时运行数据并记录至数据储存模块中, 采集周期  $T_2$  为1秒。采集数据包括: 轮毂转速  $\omega_{\text{rot}}$ 、机舱风速  $V_w$ 、风机功率限幅值  $P_{\text{lim}}$ 、风机状态  $K_{\text{st}}$ 、偏航对风误差角  $\theta_{\text{err}}$ 、风向标偏置角  $\theta_{\text{os}}$ 、空气密度  $\rho$  等。

[0044] 2.3) 数据计算模块将以上采集数据按给定计算周期计算一次均值并记录至数据储存模块中; 计算周期  $T_3$  为10分钟。

[0045] 2.4) 当风机处于自由运行状态且运行环境满足给定要求时, 数据计算模块将步骤2.3) 中计算结果记录至数据储存模块中, 并根据风机运行状态和环境参数计算风机发电效率;

[0046] 风机运行状态及环境需要满足的要求包括: a. 风机运行阶段为最大风能跟踪段; b. 风机自由运行状态且未出现限功率行为; c. 风机运行状态为发电状态; d. 风机风向标补偿角与当前给定风向标补偿角一致; e. 偏航对风误差角在较小范围内; f. 平均湍流强度低于A类。

[0047] 2.5) 多次重复步骤2.3)-2.4), 记录得到该风向标补偿角的多组风机运行数据。重复步骤2.3)-2.4) 次数不低于50次。

[0048] 2.6) 风机风向标按照指定间隔沿第一方向分别进行风向标角度补偿, 单次补偿后均按照步骤2.3)-2.5) 所述采集并记录多组数据; 第一方向为风向标正方向补偿的方向, 进行风向标角度补偿时, 风向标角度补偿区间为  $0^\circ \sim \theta_{\text{fp}}^\circ$ , 间隔为  $\theta_b^\circ$ ,  $\theta_b \leq \theta_{\text{fp}}$ , 第  $i$  次风向标角度补偿后的风向标补偿角为:  $\theta_{\text{os}} = \theta_b i \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots$ , 其中:  $i$  为风向标角度补偿次数,  $\theta_{\text{fp}}$

为给定的初次风向标补偿角度最大值,  $\theta_{fp} \geq 20$ 。

[0049] 3) 提取步骤2.6) 中记录的风机运行数据, 依据风向标未对中机舱轴线时风机运行特点, 构建风向标补偿角与风机运行效率函数模型, 计算函数模型中最优运行效率对应的风向标偏离角  $\theta_{opt\_1}$ 。

[0050] 4) 依据步骤3) 计算的结果判断二次风向标角度补偿方向, 采集并记录风机运行数据; 具体操作如下:

[0051] 4.1) 判断二次风向标补偿角度修正方向, 当  $-\xi \leq \theta_{opt\_1} \leq \xi$  时, 直接对风向标进行校零; 当  $\theta_{opt\_1} < -\xi$  时, 二次风向标补偿角度沿第二方向修正; 当  $\theta_{opt\_1} > \xi$  时, 二次风向标补偿角度继续沿第一方向修正;

[0052] 4.2) 当二次风向标补偿角度沿第二方向或第一方向修正时, 进行二次风向标补偿角度修正并获取二次修正风机运行数据, 数据获取方法如下:

[0053] 当风向标补偿角度沿第二方向修正时, 按照指定间隔  $\theta_b^\circ$  在风向标补偿角度区间  $\theta_{fp}'^\circ \sim 0^\circ$  内进行风向标角度补偿, 单次补偿后按照步骤2.3) -2.5) 采集并记录数据; 第  $n$  次二次风向标角度补偿后风向标补偿角度为:  $\theta_{os}' = \theta_b (-n)$   $n=1, 2, 3, 4, \dots$ , 其中:  $n$  为二次风向标角度补偿次数,  $\theta_{fp}'$  为给定的二次风向标修正角度最小值;

[0054] 当风向标补偿角度沿第一方向修正时, 按照指定间隔  $\theta_b^\circ$  在风向标补偿角度区间为  $\theta_{fp}^\circ \sim \theta_{fp}''^\circ$  内进行风向标角度补偿, 单次补偿后按照步骤2.3) -2.5) 采集并记录数据, 第  $n$  次二次风向标角度补偿后风向标补偿角度为:  $\theta_{os}'' = \theta_{fp} + \theta_{bn}$   $n=1, 2, 3, 4, \dots$ , 其中:  $n$  为二次风向标角度补偿次数,  $\theta_{fp}''$  为给定的二次风向标修正角度最大值且  $\theta_{fp}'' \geq \theta_{fp}$ 。

[0055] 5) 提取步骤2) 和步骤4) 中记录的风机运行数据, 重构风向标补偿角与风机运行效率函数模型, 计算重构模型中最优运行效率对应的风向标偏离角  $\theta_{opt\_2}$ 。

[0056] 6) 所述步骤6) 中, 当风向标偏离角  $\theta_{opt\_2}$  在给定自动调整范围内时, 自动校零风向标; 否则发出预估偏差角度提示信息, 人工校零偏离角度较大风向标;

[0057] 以如下公式判断自动校零风向标还是发出提示信息:

$$[0058] \quad \theta_{opt} = \begin{cases} \theta_{opt\_2} & -\xi' \leq \theta_{opt\_2} \leq \xi' \\ \text{发出提示信息} & \theta_{opt\_2} \geq \xi' \text{ or } \theta_{opt\_2} \leq -\xi' \end{cases}$$

[0059] 其中,  $\theta_{opt}$  为风向标最优校零角度,  $\xi'$  为给定的风向标自动校零角度限幅值。

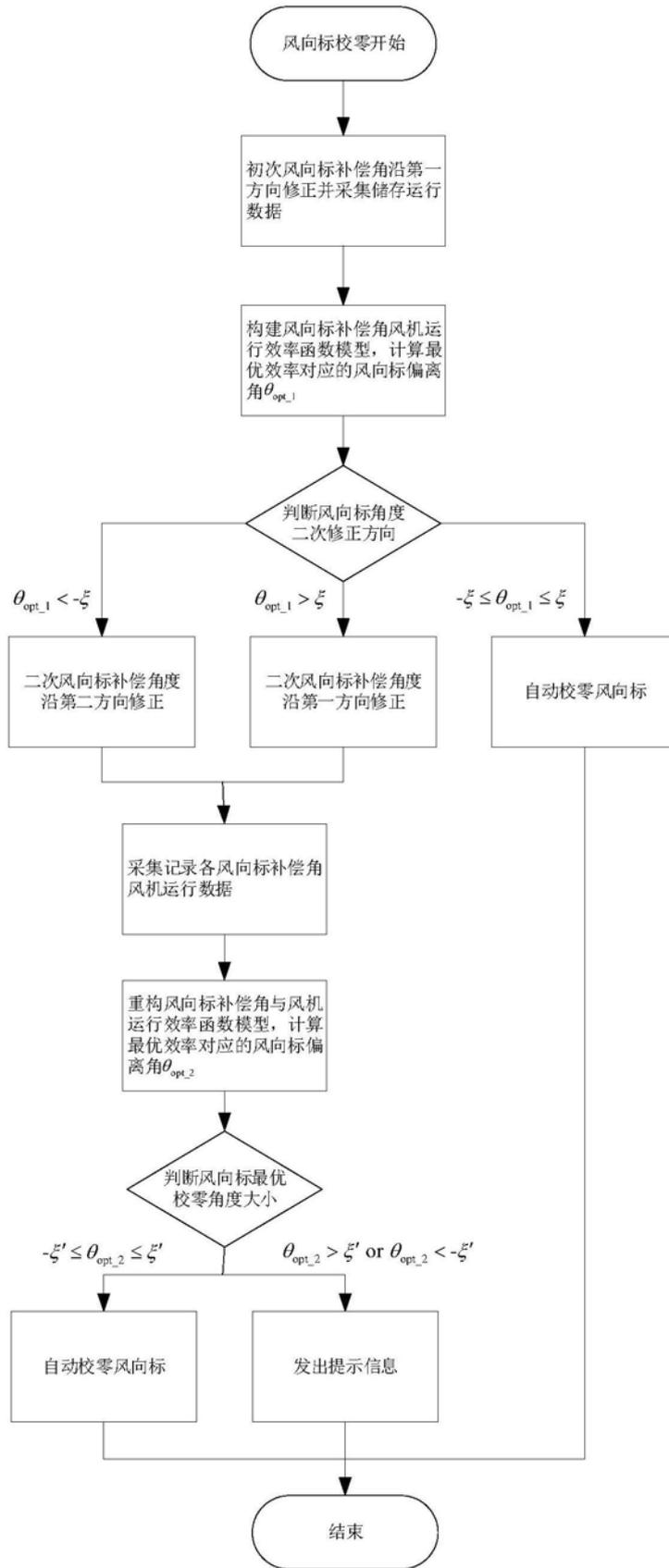


图1

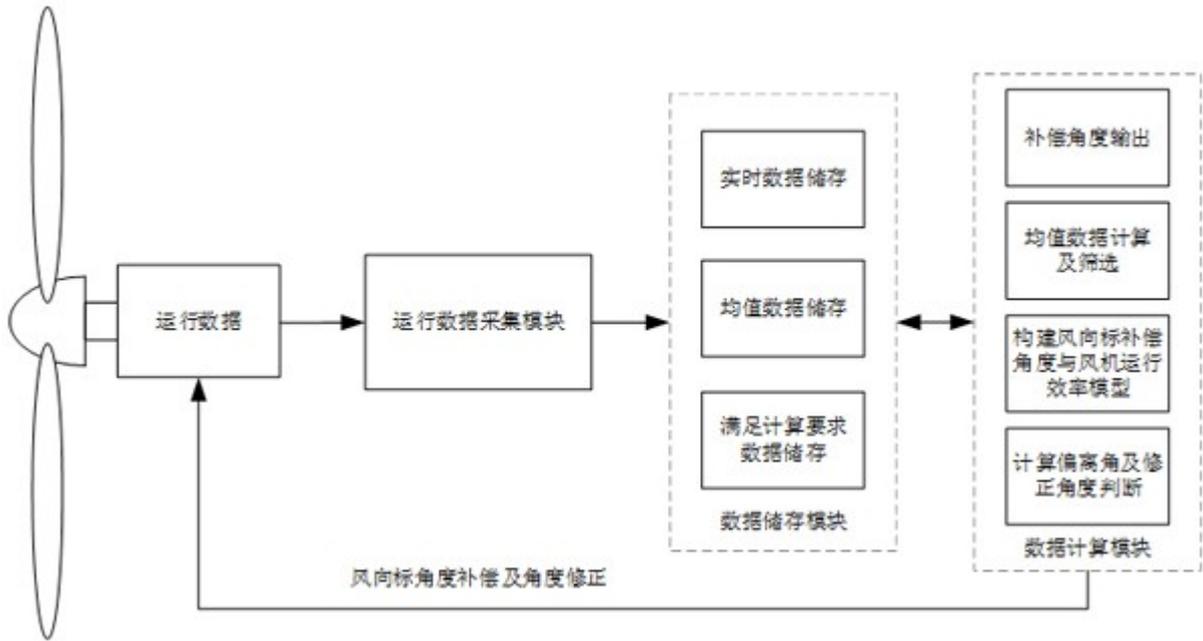


图2