

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2013 年 11 月 28 日 (28.11.2013)



(10) 国际公布号
WO 2013/174090 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/38 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/082316
- (22) 国际申请日: 2012 年 9 月 28 日 (28.09.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210160289.4 2012 年 5 月 22 日 (22.05.2012) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 中国电力科学研究院 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。

- (72) 发明人: 及
- (71) 申请人 (仅对美国): 黄越辉 (HUANG, Yuehui) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。刘德伟 (LIU, Dewei) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。刘纯 (LIU, Chun) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。李鹏 (LI, Peng) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。马烁 (MA, Shuo) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。许晓艳 (XU, Xiaoyan) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。付敏 (FU, Min) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。柴海棣 (CHAI, Haidi) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。杨硕 (YANG, Shuo) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

[见续页]

(54) Title: WIND FARM ACTIVE POWER CONTROLLING METHOD FOR IMPROVING THE GENERATING EFFICIENCY OF THE WIND FARM

(54) 发明名称: 一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法

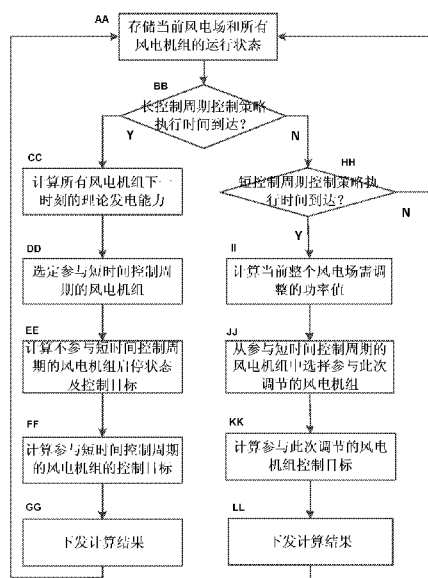


图 1 / FIG. 1

- AA Storing the operation status of current wind farm and all the wind turbines
BB Long control duty control strategy executing time reaches?
CC Calculating the theoretical generating capacity of all the wind turbines at next time
DD Selecting the wind turbines participating in the short time control duty
EE Calculating the starting and stopping status and the control target of the wind turbines not participating in the short time control duty
FF Calculating the control target of the wind turbines participating in the short time control duty
GG Send down the calculating results
HH Short control duty control strategy executing time reaches?
II Calculating the power value of current whole wind farm to be adjusted
JJ Selecting the wind turbines to participate in current adjusting from the wind turbines participating in the short time control duty
KK Calculating the control target of the wind turbines to participate in current adjusting
LL Send down the calculating results

(57) Abstract: A wind farm active power controlling method for improving the generating efficiency of the wind farm includes first calculating the maximum theoretical generating power of each wind turbine at next time in the wind farm, performing coordination control with a long and a short control duties, arranging the start-stop of each wind turbine and a control target value, so as to achieve the optimum control of the wind farm active power output. It is reasonable to the control target value arranged to the wind turbines in the control duty controlling and the control precise can be ensured. In the short control duty controlling, fast active power adjusting is achieved to some of the wind turbines, so as to eliminate the forecasting error of the maximum wind turbine theoretical generating capacity and the wind-power fluctuation, such that the active power output of the whole wind farm follows the control target value and the generating efficiency of the wind farm is improved as maximum limitation as possible. The solution is adapted for the wind farm, which includes stall-regulated wind turbines or some wind turbines not participating in the active power control in some case, to achieve active power controlling.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2013/174090 A1



(74) **代理人:** 北京安博达知识产权代理有限公司 (AMBOYNA INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.); 中国北京市海淀区大钟寺 13 号院 1 号楼华杰大厦 B215 号, Beijing 100098 (CN)。

(81) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:

— 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则 4.17(iii))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法, 包括: 首先计算得到风电场内每台风电机组下一时刻的最大理论发电功率, 并采用长、短两种控制周期进行协调控制, 安排各风电机组的启停和控制目标值, 实现风电场有功功率输出的优化控制。其在控制周期控制中对风机分配的控制目标值合理, 控制精度能够得到保证。在短控制周期控制中, 对部分风机进行快速有功调节, 以消除风电机组最大理论发电能力的预测误差和风电波动, 使得整个风电场的有功输出紧跟控制目标值, 最大限度提交风电场的发电效率。该方案适于对包含失速型风机或因某种情况导致部分风电机组无法参与有功控制的风电场进行有功功率控制。

一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法

技术领域

本发明属于新能源发电及接入技术领域，具体涉及一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法。

背景技术

自 2005 年《可再生能源法》颁布以来，我国风电发展迅猛。目前，我国风电并网容量已经超过 43GW，并网风电场超过 600 个。根据国家《可再生能源中长期发展规划》，2020 年，我国风电装机容量将达到 150GW，即，风电将以每年超过 10GW 的速度持续增长。然而，由于我国风资源丰富地区多在“三北”地区，90%以上的风电以集中开发方式聚集在“三北”地区，且大部分风电场并入电网薄弱的偏远地区，当地负荷需求有限，需要依靠坚强的网架结构才能实现全部外送。

受我国风电集中式开发、电网建设滞后及电力系统结构的限制，大风时段部分地区风电场出力受限已是普遍现象。由于风力发电能力大小主要取决于风资源大小，单台风电机组和全场风电出力具有很大波动性，对风电的准确控制不同于常规电源发电的确定可预知控制，风电的准确控制难度较大，一方面需要把握风电变化趋势及其一定范围内的波动特性，另一方面需要折中风电控制的经济性损失，通过协调优化才能达到准确性和经济性的要求。目前，绝大部分风电场尚未实现有功功率的自动控制，运行人员靠人工切除风机来响应调度端的要求，导致风电机组频繁启停，不能紧跟调度机构下发的限值指令，风电场运行效率较低。

虽然国内外的一些学者对风电场有功功率控制策略进行了一定的研究，甚至部分风机厂商已经推出了用于控制自己品牌风机的风电场有功控制系统，但现有的控制策略均以风电场并网点当前有功值与控制目标的差来指导风电场的有功控制，在风机功率分配过程中也采用平均分配的方式，未能充分考虑风电场内各风电机组间发电的空间差异以及控制周期内风电机组有功输出的波动性。因此，势必造成发电空间的浪费，影响风电场的发电效率。同时，现有的控制策略都仅应用于所有风电机组均具备功率连续调节能力的风电场，而未考虑大型风电场内包含多种类型风电机组，包括失速型风机，或因某种原因不能参与有功控制的风电机组等情况，因此不利于实际应用。

发明内容

为了克服上述现有技术的不足，本发明提供一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法。支持风电场内包含失速型风机或因某种原因不能参与有功控制的风电机组的情况，同时充分考虑风电场内各风电机组间的空间差异以及控制周期内风电机组有功输出的波动性，采用长、短两种控制周期进行协调控制，合理安排各风电机组的启停和控制目标，使整个风电场的有功输出紧跟控制目标值，最大限度地提高风电场的发电效率及风能利用率。

为了实现上述发明目的，本发明采取如下技术方案：

一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法，所述控制方法包括以下步骤：

步骤 1：测量并存储风电场并网点有功功率、测风塔的测量数据、风电机组的运行数据；

步骤 2：判断是否执行长控制周期控制、短控制周期控制或二者均不执行，若执行长控制周期控制，则执行步骤 3，若执行短控制周期控制则执行步骤 4，若二者均不执行则返回步骤 1；

步骤 3：计算所述风电机组下一长控制周期的最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ，挑选参与所述短控制周期控制的风电机组，然后计算风电机组启停状态和控制目标，将计算结果下发至风电机组主控；

步骤 4：判断风电场有功功率实际值 P_{total} 与风电场有功功率控制目标值 P_{aim} 的差值是否超过控制死区，若是则执行风电机组的有功功率调节，若否则返回步骤 1。

所述步骤 1 中，测风塔的测量数据包括风速、风向、温度、湿度和气压，所述风电机组的运行数据包括有功功率、齿轮箱转速、风机桨距角和机头风速。

所述步骤 2 中，根据所述风电场有功功率控制目标值 P_{aim} 变化情况、风电场并网点的有功功率和计时器的更新情况判断是否执行长控制周期控制、短控制周期控制或二者均不执行。

所述步骤 3 包括以下步骤：

步骤 3-1：根据所存储风电场和风电机组运行参数计算所述风电机组下一长控制周期的最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ；

步骤 3-2：根据所述风电机组特性和最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 计算风电机组的最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ ，对于失速型风电机组和只能参与启停控制而不能参与有功功率调节的风电机组，设置其最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ 等于最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ；

步骤 3-3：计算不能参与启停和有功功率调节的在运风电机组下一长控制周期的理论发电功率合 $P_{\text{outcontrol}}$ ，所述 $P_{\text{outcontrol}}$ 等于不能参与有功功率调节的在运风电机组最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 之和，即 $P_{\text{outcontrol}} = \sum P_{\max}^i$ ，则可参与有功功率调节的风电机组的控制目标合 P_{ref} 等于 P_{aim} 与 $P_{\text{outcontrol}}$ 之差；

步骤 3-4: 若可参与短控制周期控制的风电机组最小理论发电功率 $P_{\text{threshold}}^i$ 与参与有功功率调节的在运风电机组满足 $P_{\text{max}}^i > P_{\text{threshold}}^i$, 则该风电机组为可参与短控制周期控制的风电机组, 其可调节容量 P_{adjust}^i 等于 P_{max}^i 与 $P_{\text{threshold}}^i$ 之差, 即 $P_{\text{adjust}}^i = P_{\text{max}}^i - P_{\text{threshold}}^i$; 从可参与短控制周期控制的风电机组中选择 P_{adjust}^i 相对较大的风电机组作为参与短控制周期控制的风电机组, 直到所选风电机组的可调节容量总合满足要求或无风电机组可选;

步骤 3-5: 计算不参与短控制周期控制的风电机组启停状态;

以 P_{adjust}^i 最大值为目标, 计算参与短控制周期的风电机组下一长控制周期的预测有功功率合 P_{shortsum} , 所述 P_{shortsum} 等于参与短控制周期控制的风电机组最小理论发电功率 $P_{\text{threshold}}^i$ 求合, 即 $P_{\text{shortsum}} = \sum P_{\text{threshold}}^i$, 则不参与短控制周期控制的风电机组的控制目标合 P_{longref} 等于 P_{ref} 与 P_{shortsum} 之差, 即 $P_{\text{longref}} = P_{\text{ref}} - P_{\text{shortsum}}$;

计算不参与短控制周期控制的在运风电机组最大出力合 P_{summax} 和最小出力合 P_{summin} , 所述 P_{summax} 等于不参与短控制周期控制的在运风电机组最大理论发电功率 P_{max}^i 之和, P_{summin} 等于不参与短控制周期控制的在运风电机组最小可控理论发电功率 P_{min}^i 之和;

若 $P_{\text{longref}} > P_{\text{summax}}$, 则优先选择能参与有功功率调节的停运风电机组进行启机操作, 在同类风电机组中, 优先选择 P_{max}^i 较大的停运风电机组进行启机操作, 并将该风电机组的 P_{max}^i 加到 P_{summax} 中, 直到 $P_{\text{longref}} \leq P_{\text{summax}}$ 或无风电机组可选;

若 $P_{\text{longref}} < P_{\text{summin}}$, 则优先选择 P_{min}^i 较大的在运风电机组进行停机操作, 并将该风机的 P_{min}^i 从 P_{summin} 中去除, 直到 $P_{\text{longref}} \geq P_{\text{summin}}$ 或无风电机组可选;

步骤 3-6: 根据 P_{longref} 、 P_{max}^i 以及 P_{min}^i 计算不参与短控制周期控制的在运和即将启动的风电机组的控制目标 P_{Aref}^i ; 参与启停控制而不能参与有功功率调节的在运和即将启动的风电机组下一长控制周期的预测有功功率合 P_{sum1} 等于参与启停控制而不能参与有功功率调节的在运和即将启动的风电机组最大理论发电功率 P_{max}^i 之和, 即 $P_{\text{sum1}} = \sum P_{\text{max}}^i$; 则在不参与短控制周期控制的在运和即将启动的风电机组中, 可参与有功功率调节的风电机组控制目标合 P_{longref2} 为 P_{longref} 与 P_{sum1} 之差;

步骤 3-7: 根据 P_{shortref} 、 P_{max}^i 以及 P_{min}^i 计算参与短控制周期控制的风电机组的控制目标 P_{Bref}^i ; 根据不参与短控制周期控制的风电机组的 P_{Aref}^i 和 P_{max}^i , 以及风电机组的有功调节曲线和启停曲线, 计算在下一短控制周期到达前风电机组的理论发电功率 P_{longnext}^i ; 则参与短控制周期控制的风电机组控制目标合 P_{shortref} 为 P_{ref} 与 $\sum P_{\text{longnext}}^i$ 之差, 其中 $\sum P_{\text{longnext}}^i$ 为不参与短控制周期控制的风电机组的理论发电功率 P_{longnext}^i 之合;

步骤 3-8: 将计算出的风电机组启停状态和 P_{ref}^i 下发至风电机组主控, 完成本次长控制周期控制。

所述步骤 4 包括以下步骤：

步骤 4-1：比较当前风电场并网点有功功率值 P_{total} 和风电场有功功率控制目标值 P_{aim} ，二者差值是否超过控制死区，若是则执行下一步，若否则返回步骤 1；

步骤 4-2：若 $P_{total} > P_{aim}$ ，即风电机组有功功率下调；读取参与短控制周期控制的风电机组有功功率 P^i ，并读取 P_{min}^i ；若 $P^i \leq P_{min}^i$ ，则该风电机组不具备下调的能力，将其控制目标设置为最小可控发电能力值，不再参与后续计算；若 $P^i > P_{min}^i$ ，其可调容量 $P_{adjust}^i = P^i - P_{min}^i$ ；根据 P_{total} 、 P_{aim} 及 P_{adjust}^i 计算风电机组的控制目标 P_{ref}^i ；计算出的风电机组 P_{ref}^i 值下发至风电机组主控，完成本次短控制周期控制，返回步骤 1。

步骤 4-3：若 $P_{total} < P_{aim}$ ，即风电机组有功功率上调；读取参与短控制周期控制的风电机组有功功率 P^i ，并根据所存储的风电场和风电机组运行状态的历史数据以及风功率预测信息，计算参与短控制周期控制的风电机组下一短控制周期的最大理论发电能力 P_{max}^i ，若 $P^i \geq P_{max}^i$ ，该风电机组不具备上调的能力，将其控制目标设置为当前有功功率值，不再参与后续计算；若 $P^i < P_{max}^i$ ，该风电机组具备上调的能力，其可调容量 $P_{adjust}^i = P_{max}^i - P^i$ ；根据 P_{total} 、 P_{aim} 及 P_{adjust}^i 计算每台风电机组的控制目标 P_{ref}^i ；计算出的风电机组 P_{ref}^i 值下发至风电机组主控，完成本次短控制周期控制，返回步骤 1。

与现有技术相比，本发明的有益效果在于：

1. 本发明在长控制周期控制对各风电机组进行控制目标分配和执行控制前，已经考虑了每台风电机组下一时刻的最大理论发电功率，因此对风机分配的控制目标值更加合理，控制精度能够得到保证；

2. 在短控制周期控制中，本发明根据当前的风电场并网点功率和有功调节性能，对部分风电机组进行快速的有功功率调节，以消除风电机组最大理论发电能力的预测误差和风电的波动，使整个风电场的有功输出紧跟控制目标值，最大限度地提高风电场的发电效率，并提高风电机组运行经济性；

3. 本发明对每台风电机组下一时刻的最大理论发电能力进行了预测，并在短控制周期控制中对部分风电机组进行快速跟踪调节，适用于对包含失速型风机或因某种情况导致部分风电机组无法参与有功控制的风电场进行有功功率控制。

附图说明

图 1 是本发明实施例的流程图；

图 2 是本发明实施例中长控制周期控制流程图；

图 3 是本发明实施例中短控制周期控制流程图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

如图 1，一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法，所述控制方法包括以下步骤：

步骤 1：测量并存储风电场并网点有功功率、测风塔的测量数据、风电机组的运行数据；

步骤 2：判断是否执行长控制周期控制、短控制周期控制或二者均不执行，若执行长控制周期控制，则执行步骤 3，若执行短控制周期控制则执行步骤 4，若二者均不执行则返回步骤 1；

步骤 3：计算所述风电机组下一长控制周期的最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ，挑选参与所述短控制周期控制的风电机组，然后计算风电机组启停状态和控制目标，将计算结果下发至风电机组主控；

步骤 4：判断风电场有功功率实际值 P_{total} 与风电场有功功率控制目标值 P_{aim} 的差值是否超过控制死区，若是则执行风电机组的有功功率调节，若否则返回步骤 1。

所述步骤 1 中，测风塔的测量数据包括风速、风向、温度、湿度和气压，所述风电机组的运行数据包括有功功率、齿轮箱转速、风机桨距角和机头风速。

所述步骤 2 中，根据所述风电场有功功率控制目标值 P_{aim} 变化情况、风电场并网点的有功功率和计时器的更新情况判断是否执行长控制周期控制、短控制周期控制或二者均不执行。

如图 2，所述步骤 3 包括以下步骤：

步骤 3-1：根据所存储风电场和风电机组运行参数计算所述风电机组下一长控制周期的最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ；

步骤 3-2：根据所述风电机组特性和最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 计算风电机组的最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ ，对于失速型风电机组和只能参与启停控制而不能参与有功功率调节的风电机组，设置其最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ 等于最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ；

步骤 3-3：计算不能参与启停和有功功率调节的在运风电机组下一长控制周期的理论发电功率合 $P_{\text{outcontrol}}$ ，所述 $P_{\text{outcontrol}}$ 等于不能参与有功功率调节的在运风电机组最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 之和，即 $P_{\text{outcontrol}} = \sum P_{\max}^i$ ，则可参与有功功率调节的风电机组的控制目标合 P_{ref} 等于 P_{aim} 与 $P_{\text{outcontrol}}$ 之差；

步骤 3-4：若可参与短控制周期控制的风电机组最小理论发电功率 $P_{\text{threshold}}^i$ 与参与有功功率调节的在运风电机组满足 $P_{\max}^i > P_{\text{threshold}}^i$ ，则该风电机组为可参与短控制周期控制的风电机组，其可调节容量 P_{adjust}^i 等于 $P_{\max}^i$ 与 $P_{\text{threshold}}^i$ 之差，即 $P_{\text{adjust}}^i = P_{\max}^i - P_{\text{threshold}}^i$ ；从可参与短控制周期控

制的风电机组中选择 P_{adjust}^i 相对较大的风电机组作为参与短控制周期控制的风电机组，直到所选风电机组的可调节容量总合满足要求或无风电机组可选；

步骤 3-5：计算不参与短控制周期控制的风电机组启停状态；

以 P_{adjust}^i 最大值为目标，计算参与短控制周期的风电机组下一长控制周期的预测有功功率合 P_{shortsum} ，所述 P_{shortsum} 等于参与短控制周期控制的风电机组最小理论发电功率 $P_{\text{threshold}}^i$ 求合，即 $P_{\text{shortsum}} = \sum P_{\text{threshold}}^i$ ，则不参与短控制周期控制的风电机组的控制目标合 P_{longref} 等于 P_{ref} 与 P_{shortsum} 之差，即 $P_{\text{longref}} = P_{\text{ref}} - P_{\text{shortsum}}$ ；

计算不参与短控制周期控制的在运风电机组最大出力合 P_{summax} 和最小出力合 P_{summin} ，所述 P_{summax} 等于不参与短控制周期控制的在运风电机组最大理论发电功率 P_{max}^i 之和， P_{summin} 等于不参与短控制周期控制的在运风电机组最小可控理论发电功率 P_{min}^i 之和；

若 $P_{\text{longref}} > P_{\text{summax}}$ ，则优先选择能参与有功功率调节的停运风电机组进行启机操作，在同类风电机组中，优先选择 P_{max}^i 较大的停运风电机组进行启机操作，并将该风电机组的 P_{max}^i 加到 P_{summax} 中，直到 $P_{\text{longref}} \leq P_{\text{summax}}$ 或无风电机组可选；

若 $P_{\text{longref}} < P_{\text{summin}}$ ，则优先选择 P_{min}^i 较大的在运风电机组进行停机操作，并将该风机的 P_{min}^i 从 P_{summin} 中去除，直到 $P_{\text{longref}} \geq P_{\text{summin}}$ 或无风电机组可选；

步骤 3-6：根据 $P_{\text{longref}2}$ 、 P_{max}^i 以及 P_{min}^i 计算不参与短控制周期控制的在运和即将启动的风电机组的控制目标 P_{Aref}^i ；参与启停控制而不能参与有功功率调节的在运和即将启动的风电机组下一长控制周期的预测有功功率合 P_{sum1} 等于参与启停控制而不能参与有功功率调节的在运和即将启动的风电机组最大理论发电功率 P_{max}^i 之和，即 $P_{\text{sum1}} = \sum P_{\text{max}}^i$ ；则在不参与短控制周期控制的在运和即将启动的风电机组中，可参与有功功率调节的风电机组控制目标合 $P_{\text{longref}2}$ 为 P_{longref} 与 P_{sum1} 之差；

步骤 3-7：根据 P_{shortref} 、 P_{max}^i 以及 P_{min}^i 计算参与短控制周期控制的风电机组的控制目标 P_{Bref}^i ；根据不参与短控制周期控制的风电机组的 P_{Aref}^i 和 P_{max}^i ，以及风电机组的有功调节曲线和启停曲线，计算在下一短控制周期到达前风电机组的理论发电功率 P_{longnext}^i ；则参与短控制周期控制的风电机组控制目标合 P_{shortre} 为 P_{ref} 与 $\sum P_{\text{longnext}}^i$ 之差，其中 $\sum P_{\text{longnext}}^i$ 为不参与短控制周期控制的风电机组的理论发电功率 P_{longnext}^i 之合；

步骤 3-8：将计算出的风电机组启停状态和 P_{ref}^i 下发至风电机组主控，完成本次长控制周期控制。

如图 3，所述步骤 4 包括以下步骤：

步骤 4-1：比较当前风电场并网点有功功率值 P_{total} 和风电场有功功率控制目标值 P_{aim} ，二者差值是否超过控制死区，若是则执行下一步，若否则返回步骤 1；

步骤 4-2: 若 $P_{\text{total}} > P_{\text{aim}}$, 即风电机组的有功功率下调; 读取参与短控制周期控制的风电机组有功功率 P^i , 并读取 P_{min}^i ; 若 $P^i \leq P_{\text{min}}^i$, 则该风电机组不具备下调的能力, 将其控制目标设置为最小可控发电能力值, 不再参与后续计算; 若 $P^i > P_{\text{min}}^i$, 其可调容量 $P_{\text{adjust}}^i = P^i - P_{\text{min}}^i$; 根据 P_{total} 、 P_{aim} 及 P_{adjust}^i 计算风电机组的控制目标 P_{ref}^i ; 计算出的风电机组 P_{ref}^i 值下发至风电机组主控, 完成本次短控制周期控制, 返回步骤 1。

步骤 4-3: 若 $P_{\text{total}} < P_{\text{aim}}$, 即风电机组的有功功率上调; 读取参与短控制周期控制的风电机组有功功率 P^i , 并根据所存储的风电场和风电机组运行状态的历史数据以及风功率预测信息, 计算参与短控制周期控制的风电机组下一短控制周期的最大理论发电能力 P_{max}^i , 若 $P^i \geq P_{\text{max}}^i$, 该风电机组不具备上调的能力, 将其控制目标设置为当前有功功率值, 不再参与后续计算; 若 $P^i < P_{\text{max}}^i$, 该风电机组具备上调的能力, 其可调容量 $P_{\text{adjust}}^i = P_{\text{max}}^i - P^i$; 根据 P_{total} 、 P_{aim} 及 P_{adjust}^i 计算每台风电机组的控制目标 P_{ref}^i ; 计算出的风电机组 P_{ref}^i 值下发至风电机组主控, 完成本次短控制周期控制, 返回步骤 1。

综上所述, 本发明采用长、短两种控制周期进行协调控制, 合理安排各风电机组的启停和控制目标, 使整个风电场的有功输出紧跟控制目标值, 最大限度地提高风电场的发电效率及风能利用率。

最后应当说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制, 尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明, 所属领域的普通技术人员应当理解: 依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换, 而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换, 其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

权 利 要 求

1. 一种提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法，其特征在于：所述控制方法包括以下步骤：

步骤 1：测量并存储风电场并网点有功功率、测风塔的测量数据、风电机组的运行数据；

步骤 2：判断是否执行长控制周期控制、短控制周期控制或二者均不执行，若执行长控制周期控制，则执行步骤 3，若执行短控制周期控制则执行步骤 4，若二者均不执行则返回步骤 1；

步骤 3：计算所述风电机组下一长控制周期的最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ，挑选参与所述短控制周期控制的风电机组，然后计算风电机组启停状态和控制目标，将计算结果下发至风电机组主控；

步骤 4：判断风电场有功功率实际值 P_{total} 与风电场有功功率控制目标值 P_{aim} 的差值是否超过控制死区，若是则执行风电机组的有功功率调节，若否则返回步骤 1。

2. 根据权利要求 1 所述的提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法，其特征在于：所述步骤 1 中，测风塔的测量数据包括风速、风向、温度、湿度和气压，所述风电机组的运行数据包括有功功率、齿轮箱转速、风机桨距角和机头风速。

3. 根据权利要求 1 所述的提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法，其特征在于：所述步骤 2 中，根据所述风电场有功功率控制目标值 P_{aim} 变化情况、风电场并网点的有功功率和计时器的更新情况判断是否执行长控制周期控制、短控制周期控制或二者均不执行。

4. 根据权利要求 1 所述的提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法，其特征在于：所述步骤 3 包括以下步骤：

步骤 3-1：根据所存储风电场和风电机组运行参数计算所述风电机组下一长控制周期的最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ；

步骤 3-2：根据所述风电机组特性和最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 计算风电机组的最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ ，对于失速型风电机组和只能参与启停控制而不能参与有功功率调节的风电机组，设置其最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ 等于最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ ；

步骤 3-3：计算不能参与启停和有功功率调节的在运风电机组下一长控制周期的理论发电功率合 $P_{\text{outcontrol}}$ ，所述 $P_{\text{outcontrol}}$ 等于不能参与有功功率调节的在运风电机组最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 之和，即 $P_{\text{outcontrol}} = \sum P_{\max}^i$ ，则可参与有功功率调节的风电机组的控制目标合 P_{ref} 等于 P_{aim} 与 $P_{\text{outcontrol}}$ 之差；

步骤 3-4：若可参与短控制周期控制的风电机组最小理论发电功率 $P_{\text{threshold}}^i$ 与参与有功功

率调节的在运风电机组满足 $P_{\max}^i > P_{\text{threshold}}^i$, 则该风电机组为可参与短控制周期控制的风电机组, 其可调节容量 P_{adjust}^i 等于 $P_{\max}^i$ 与 $P_{\text{threshold}}^i$ 之差, 即 $P_{\text{adjust}}^i = P_{\max}^i - P_{\text{threshold}}^i$; 从可参与短控制周期控制的风电机组中选择 P_{adjust}^i 相对较大的风电机组作为参与短控制周期控制的风电机组, 直到所选风电机组的可调节容量总合满足要求或无风电机组可选;

步骤 3-5: 计算不参与短控制周期控制的风电机组启停状态;

以 P_{adjust}^i 最大值为目标, 计算参与短控制周期的风电机组下一长控制周期的预测有功功率合 P_{shortsum} , 所述 P_{shortsum} 等于参与短控制周期控制的风电机组最小理论发电功率 $P_{\text{threshold}}^i$ 求合, 即 $P_{\text{shortsum}} = \sum P_{\text{threshold}}^i$, 则不参与短控制周期控制的风电机组的控制目标合 P_{longref} 等于 P_{ref} 与 P_{shortsum} 之差, 即 $P_{\text{longref}} = P_{\text{ref}} - P_{\text{shortsum}}$;

计算不参与短控制周期控制的在运风电机组最大出力合 P_{summax} 和最小出力合 P_{summin} , 所述 P_{summax} 等于不参与短控制周期控制的在运风电机组最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 之和, P_{summin} 等于不参与短控制周期控制的在运风电机组最小可控理论发电功率 $P_{\min}^i$ 之和;

若 $P_{\text{longref}} > P_{\text{summax}}$, 则优先选择能参与有功功率调节的停运风电机组进行启机操作, 在同类风电机组中, 优先选择 $P_{\max}^i$ 较大的停运风电机组进行启机操作, 并将该风电机组的 $P_{\max}^i$ 加到 P_{summax} 中, 直到 $P_{\text{longref}} \leq P_{\text{summax}}$ 或无风电机组可选;

若 $P_{\text{longref}} < P_{\text{summin}}$, 则优先选择 $P_{\min}^i$ 较大的在运风电机组进行停机操作, 并将该风机的 $P_{\min}^i$ 从 P_{summin} 中去除, 直到 $P_{\text{longref}} \geq P_{\text{summin}}$ 或无风电机组可选;

步骤 3-6: 根据 $P_{\text{longref}2}$ 、 $P_{\max}^i$ 以及 $P_{\min}^i$ 计算不参与短控制周期控制的在运和即将启动的风电机组的控制目标 $P_{A\text{ref}}^i$; 参与启停控制而不能参与有功功率调节的在运和即将启动的风电机组下一长控制周期的预测有功功率合 P_{sum1} 等于参与启停控制而不能参与有功功率调节的在运和即将启动的风电机组最大理论发电功率 $P_{\max}^i$ 之和, 即 $P_{\text{sum1}} = \sum P_{\max}^i$; 则在不参与短控制周期控制的在运和即将启动的风电机组中, 可参与有功功率调节的风电机组控制目标合 $P_{\text{longref}2}$ 为 P_{longref} 与 P_{sum1} 之差;

步骤 3-7: 根据 P_{shortref} 、 $P_{\max}^i$ 以及 $P_{\min}^i$ 计算参与短控制周期控制的风电机组的控制目标 $P_{B\text{ref}}^i$; 根据不参与短控制周期控制的风电机组的 $P_{A\text{ref}}^i$ 和 $P_{\max}^i$, 以及风电机组的有功调节曲线和启停曲线, 计算在下一短控制周期到达前风电机组的理论发电功率 P_{longnext}^i ; 则参与短控制周期控制的风电机组控制目标合 P_{shortre} 为 P_{ref} 与 $\sum P_{\text{longnext}}^i$ 之差, 其中 $\sum P_{\text{longnext}}^i$ 为不参与短控制周期控制的风电机组的理论发电功率 P_{longnext}^i 之合;

步骤 3-8: 将计算出的风电机组启停状态和 P_{ref}^i 下发至风电机组主控, 完成本次长控制周期控制。

5. 根据权利要求 1 所述的提高风电场发电效率的风电场有功功率控制方法, 其特征在于:

所述步骤 4 包括以下步骤：

步骤 4-1：比较当前风电场并网点的有功功率值 P_{total} 和风电场有功功率控制目标值 P_{aim} ，二者差值是否超过控制死区，若是则执行下一步，若否则返回步骤 1；

步骤 4-2：若 $P_{total} > P_{aim}$ ，即风电机组的有功功率下调；读取参与短控制周期控制的风电机组有功功率 P^i ，并读取 P_{min}^i ；若 $P^i \leq P_{min}^i$ ，则该风电机组不具备下调的能力，将其控制目标设置为最小可控发电能力值，不再参与后续计算；若 $P^i > P_{min}^i$ ，其可调容量 $P_{adjust}^i = P^i - P_{min}^i$ ；根据 P_{total} 、 P_{aim} 及 P_{adjust}^i 计算风电机组的控制目标 P_{ref}^i ；计算出的风电机组 P_{ref}^i 值下发至风电机组主控，完成本次短控制周期控制，返回步骤 1。

步骤 4-3：若 $P_{total} < P_{aim}$ ，即风电机组的有功功率上调；读取参与短控制周期控制的风电机组有功功率 P^i ，并根据所存储的风电场和风电机组运行状态的历史数据以及风功率预测信息，计算参与短控制周期控制的风电机组下一短控制周期的最大理论发电能力 P_{max}^i ，若 $P^i \geq P_{max}^i$ ，该风电机组不具备上调的能力，将其控制目标设置为当前有功功率值，不再参与后续计算；若 $P^i < P_{max}^i$ ，该风电机组具备上调的能力，其可调容量 $P_{adjust}^i = P_{max}^i - P^i$ ；根据 P_{total} 、 P_{aim} 及 P_{adjust}^i 计算每台风电机组的控制目标 P_{ref}^i ；计算出的风电机组 P_{ref}^i 值下发至风电机组主控，完成本次短控制周期控制，返回步骤 1。

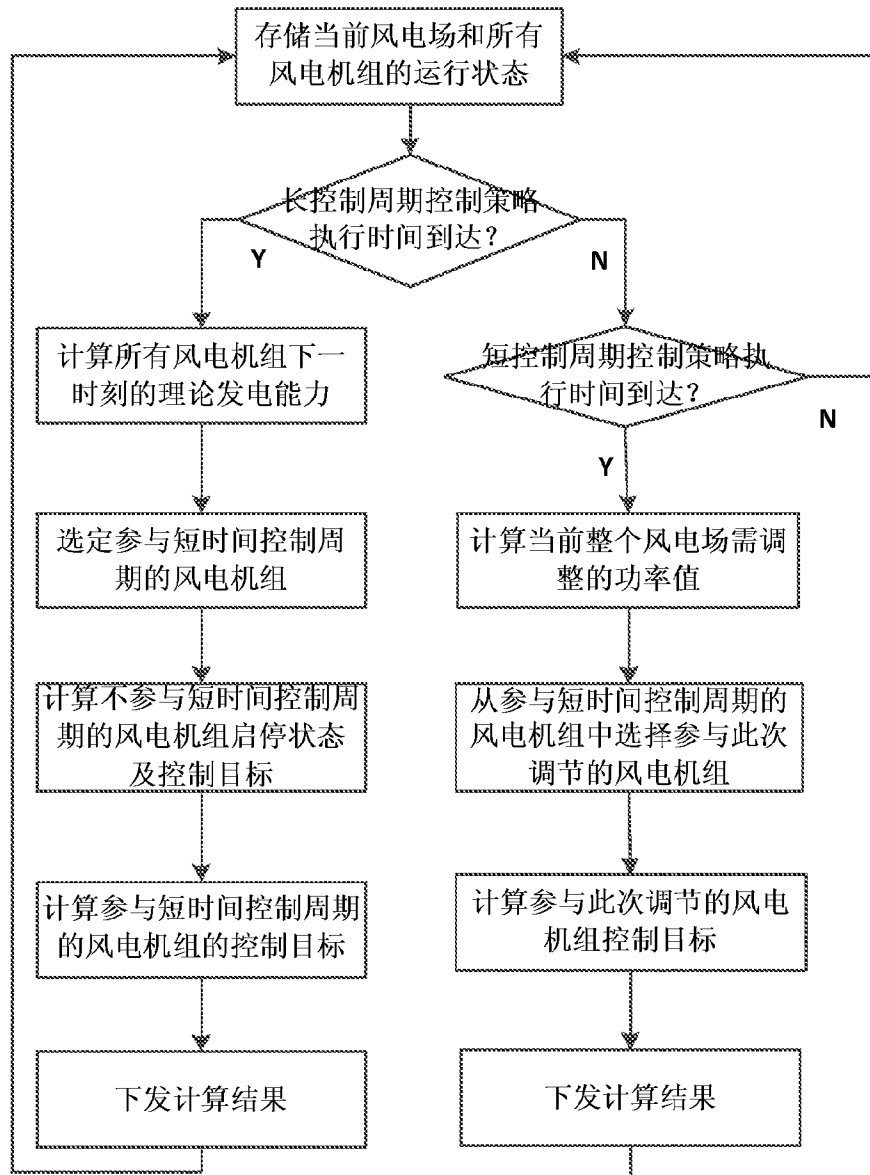


图 1

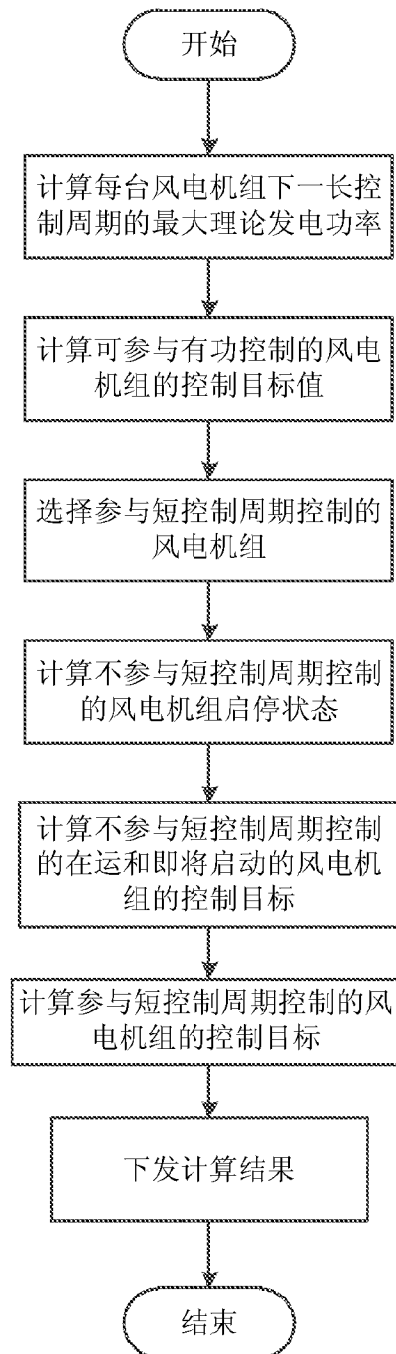


图 2

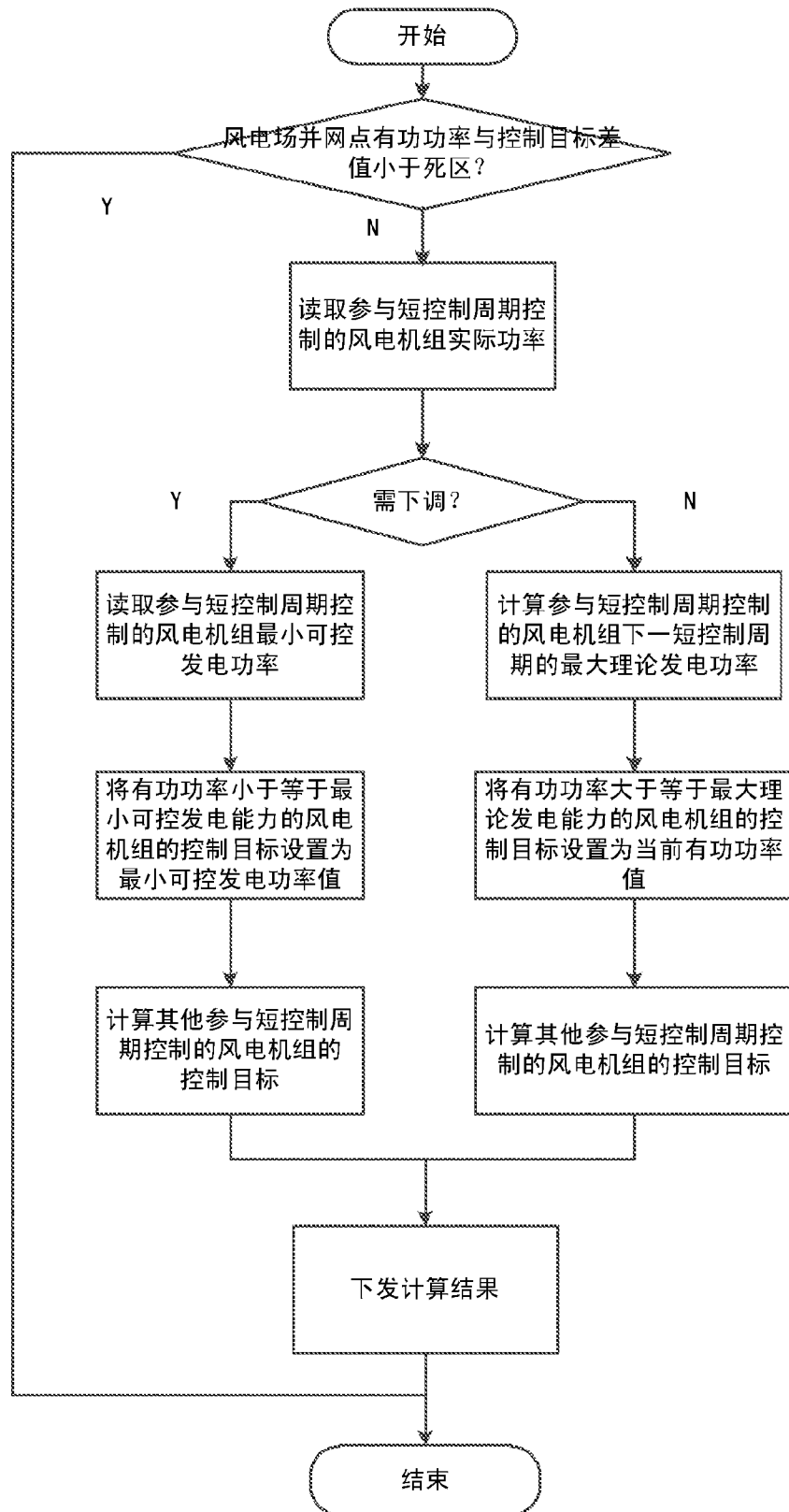


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/082316

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/38 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H02J 3, F03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
CPRS, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: wind power, wind force, fan, wind field, active power, period control, wind+, active, power, period, control, time

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102361330 A (BEIJING SIFANG AUTOMATION CO., LTD.), 22 February 2012 (22.02.2012), the whole document	1-5
A	CN 102289566 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 21 December 2011 (21.12.2011), the whole document	1-5
A	CN 101860042 A (XJ GROUP CORPORATION et al.), 13 October 2010 (13.10.2010), the whole document	1-5
A	CN 102003349 A (GANSU ELECTRONIC POWER CORPORATION), 06 April 2011 (06.04.2011), the whole document	1-5
A	ZOU, Jianxiao et al., An Active Power Control Scheme for Wind Farms Based on State Classification Algorithm, AUTOMATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS, 25 December 2011, vol. 35, no. 24, pages 28-32, ISSN: 1000-1026	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 12 February 2013 (12.02.2013)	Date of mailing of the international search report 28 February 2013 (28.02.2013)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer CHAI, De'e Telephone No.: (86-10) 62411782

International application No.

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102361330 A	22.02.2012	None	
CN 102289566 A	21.12.2011	None	
CN 101860042 A	13.10.2010	CN 101860042 B	26.09.2012
CN 102003349 A	06.04.2011	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2012/082316

A. 主题的分类

H02J 3/38(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H02J3, F03D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CPRS, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: 风电, 风力, 风机, 风场, 有功, 周期控制, 时间, wind+, active, power, period, control, time

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102361330 A(北京四方继保自动化股份有限公司)22.2 月 2012 (22.02.2012) 全文	1-5
A	CN 102289566 A(浙江大学)21.12 月 2011 (21.12.2011) 全文	1-5
A	CN 101860042 A(许继集团有限公司 等)13.10 月 2010 (13.10.2010) 全文	1-5
A	CN 102003349 A(甘肃省电力公司)06.4 月 2011 (06.04.2011) 全文	1-5
A	邹见效等.基于机组状态分类的风电场有功功率控制策略.电力系统自动化.25.12 月 2011, 第 35 卷第 24 期, 第 28-32 页, ISSN:1000-1026	1-5

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期
12.2 月 2013 (12.02.2013)国际检索报告邮寄日期
28.2 月 2013 (28.02.2013)ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451受权官员
柴德娥
电话号码: (86-10) 62411782

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/082316

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 102361330 A	22.02.2012	无	
CN 102289566 A	21.12.2011	无	
CN 101860042 A	13.10.2010	CN 101860042 B	26.09.2012
CN 102003349 A	06.04.2011	无	