

(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
2017 年 11 月 2 日 (02.11.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/186178 A1

(51) 国际专利分类号:

H02J 3/28 (2006.01)

CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号, Beijing 100031 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/082564

(22) 国际申请日: 2017 年 4 月 28 日 (28.04.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

201610278732.6 2016年4月28日 (28.04.2016) CN

(71) 申请人: 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

(72) 发明人: 李相俊(LI, Xiangjun); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。 何宇婷(HE, Yuting); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。 张晶琼(ZHANG, Jingqiong); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。 惠东(HUI, Dong); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。 贾学翠(JIA, Xuecui); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。

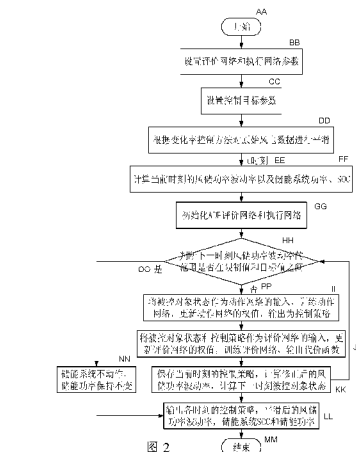
(74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司(CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY

(54) Title: ADAPTIVE DYNAMIC PLANNING CONTROL METHOD AND SYSTEM FOR ENERGY STORAGE STATION, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 储能电站自适应动态规划的控制方法、系统和存储介质

(57) Abstract: An adaptive dynamic planning control method and system for a large-scale energy storage station, and a storage medium. The method comprises: setting a structure and control target parameters of an adaptive dynamic planning control system; initializing the parameters and importing an initial state of a controlled object; calculating an original wind electricity power fluctuation rate at a current moment t and smoothing the original wind electricity power according to a change rate control strategy; calculating a smoothed wind storage power fluctuation rate, a power of an energy storage system, and a state of charge (SOC) of the energy storage system at each moment; and outputting the control strategy at each moment, the smoothed wind storage power fluctuation rate, the energy storage power and the state of charge (SOC) of the energy storage system. The system comprises a parameter initialization module, a data acquisition and calculation module, an execution module, an evaluation module and an output module.

(57) 摘要: 一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法、系统和存储介质, 所述方法包括: 设置自适应动态规划控制系统的结构和控制目标参数; 初始化参数并导入被控对象的初始状态; 计算当前时刻t的原始风电功率波动率, 根据变化率控制策略对原始风电功率进行平滑; 计算平滑后的风储功率波动率, 储能系统功率, 储能系统的荷电状态SOC; 初始化训练评价模块和执行模块; 计算每个时刻的控制策略, 平滑后的风储功率波动率, 储能功率和储能系统荷电状态SOC, 并进行保存; 输出所述各个时刻的控制策略, 平滑后的风储功率波动率, 储能功率和储能系统荷电状态SOC。所述系统包括参数初始化模块、数据采集和计算模块、执行模块、评价模块及输出模块等。



AA Start
BB Setting a parameter of an evaluation network and an execution network
CC Setting a control target parameter
DD Smoothing original wind electricity power fluctuation rate according to a change rate control method
EE t moment
FF Calculating a smoothed wind storage power fluctuation rate, a power of an energy storage system, and an SOC at a current moment
GG Calculating a smoothed wind storage power fluctuation rate, a power of an energy storage system, and an SOC at a current moment
HH Judging whether the range of a wind storage power fluctuation rate at a next moment is between a limit value and a target value
II Taking a state of a controlled object as an input of an action network to train the action network, to update a weight value of the action network, and to output same as a control strategy
JJ Taking the state of the controlled object and the control strategy as an input of the evaluation network to update a weight value of the evaluation network, and train the evaluation network to output a cost function
KK Saving the control strategy at the current moment, calculating a smoothed wind storage power fluctuation rate, and calculating the state of the controlled object at the next moment
LL Outputting a control strategy, a smoothed wind storage power fluctuation rate, an SOC of an energy storage system and an energy storage power at each moment
MM End
NN The energy storage system taking no action, the energy storage power keeping unchanged
OO Yes
PP No

OFFICE); 中国北京市海淀区海淀南路21号中关村知识产权大厦B座2层, Beijing 100080 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

储能电站自适应动态规划的控制方法、系统和存储介质

本申请基于申请号为 201610278732.6、申请日为 2016 年 04 月 28 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

5 技术领域

本发明属于智能电网、能源互联网和储能技术领域，具体涉及一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法、系统和存储介质。

背景技术

随着风电、光伏发电技术的不断发展，风电和光伏发电等新能源发电的大规模并网，其出力的波动问题日益严重。风电、光伏发电等新能源发电大规模接入电网后，其波动性和间歇性会对电网运行的安全性、稳定性以及电能质量等造成不利影响。因此，目前在实际运用中，风电和光伏发电的并网受到了很大限制，不利于风电、光伏发电等新能源发电的发展，控制新能源发电出力波动对电网运行的安全、稳定、经济运行有着重要意义。储能系统凭借充放电能力可有效抑制新能源发电输出波动对电网的不利影响，进而降低新能源发电系统带来的波动性，提高电网接纳新能源发电的能力。

按照存储形式的不同，储能可分为物理储能、电化学储能和电磁储能。其中电池储能目前处于快速发展阶段，储能电站规模达到了兆瓦级~数十兆瓦级。因此可以通过配备一定容量的大规模电池储能系统，根据新能源发电出力的情况，采用电池储能系统充放电的优化控制，平滑新能源发电功率。并结合新能源发电出力波动率和储能系统的荷电状态等指标进行整体优化，以满足电网对风电、光伏发电等新能源发电并网的要求。

目前,我国已建成多个千万千瓦级新能源发电基地,在新能源发电富集区域电网中,对电池储能的容量要求通常达数十 MW 以上,甚至达百兆瓦以上。百兆瓦级电池储能电站参与新能源发电集群控制及系统调度运行,对破解新能源发电的送出和消纳瓶颈有重要意义。大规模储能技术是我国可再生
5 可再生能源发电利用的关键支撑技术。针对大规模可再生能源发电的接入,一方面通过储能技术与可再生能源发电的联合,减少其随机性并提高其可调节性;另一方面通过电网级的储能应用增强电网对可再生能源发电的适应性。目前,储能作为电网的可调度资源,具有很大的应用价值和应用空间。

在电网级应用中,需要储能进行秒至小时级的多时间尺度功率支撑。
10 在储能与新能源发电联合并网应用时,百兆瓦电池储能电站整体需满足新能源发电从秒到分钟级不同时间尺度的响应需求。因此,如何基于大规模新能源发电的出力波动以及储能在电网级应用等实际需求,实现百兆瓦级电池储能电站整体出力多目标协调优化控制是亟待破解的技术难题。

在大规模电池储能电站平滑大规模新能源发电出力波动时,采用传统
15 的一阶低通滤波或变时间常数(T)的出力滤波方法,由于方法本身自带的时滞而导致有时控制灵敏度不佳。一般的移动平均滤波算法输出的储能出力目标值也在很大程度上受限于风电、光伏发电等新能源发电功率的输入,这些现有方法遇到新能源发电出力出现骤变的情况,滤波性能下降,且影响后续滤波效果。另一方面,在提高新能源发电友好性的储能电站出力控
20 制时,传统控制方法在储能电站整体出力的自适应控制方面,其基于自学习的智能优化控制能力有待进一步提高。

发明内容

本发明实施例提供一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法、系统和存储介质,期望降低风电功率并网给电网带来的冲击,同时对储能系
25 统的工作能力和寿命进行优化保护,以提升储能系统的技术性与经济性。

本发明实施例采取如下技术方案:

一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法,所述方法包括如下步骤:

(1) 设置自适应动态规划控制系统的结构和控制目标参数;

5 (2) 初始化参数并导入被控对象的初始状态;

(3) 计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T ,根据变化率控制方法对原始风电功率进行平滑;计算平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T ,储能系统功率 $P_{BESS}(t)$,储能系统的荷电状态 SOC;

(4) 初始化训练评价模块和执行模块;

10 (5) 计算每个时刻的控制策略,平滑后的风储功率波动率,储能功率和储能系统荷电状态 SOC,并进行保存;

(6) 输出所述各个时刻的控制策略,平滑后的风储功率波动率,储能功率和储能系统荷电状态 SOC。

15 可选地,所述步骤(1)中,所述自适应动态规划控制系统包括评价模块和执行模块的两层结构,每个模块均用三层神经网络结构来构建;所述控制目标参数包括风电发电容量 P_{wp}^{rated} ,储能系统容量 W_{bat} ,储能系统的荷电状态 SOC 限制范围,采样时间 Δt ,观测时间 T ,波动率控制目标 r_{obj}^T 和波动率限制目标 r_{lim}^T 。

20 可选地,所述步骤(2)中,所述初始化参数包括风电功率波动率的初始值,储能系统荷电状态 SOC 的初始值,当前时刻风电实际出力功率。

可选地,所述步骤(3)包括如下步骤:

步骤 3-1、所述的当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T 的计算公式如下:

$$r_{wp}^T = f_{wp} \left(\frac{P_{wp}^{\max} - P_{wp}^{\min}}{P_{wp}^{rated}} \right) \quad (1)$$

$$P_{wp}^{\max} = \max \{ P_{wp}(t), P_{wp}(t - \Delta t), \dots, P_{wp}(t - (n-1)\Delta t) \} \quad (2)$$

$$P_{wp}^{\min} = \min\{P_{wp}(t), P_{wp}(t-\Delta t), \dots, P_{wp}(t-(n-1)\Delta t)\} \quad (3)$$

$$T = n\Delta t \quad (4)$$

式中: P_{wp}^{rated} 是风电容量, 即额定功率, $P_{wp}^{\max}$ 和 $P_{wp}^{\min}$ 是观测时间内的风电功率最大值和最小值, Δt 是采样时间, T 为观测时间, $P_{wp}(t)$ 为风电功率的原始值, f_{wp} 计算风电功率波动率的原始函数, n 为在观测时间内的采样点数;

步骤 3-2、根据变化率控制方法对所述风电功率的原始值进行平滑;

所述变化率控制方法的计算方法如下:

根据风电功率原始值 $P_{wp}(t)$ 、平滑后的风电功率值 $P_{hybrid}(t)$ 、采样时间 Δt 定义了风电功率的变化率 $k(t)$:

$$k(t) = \frac{P_{wp}(t) - P_{hybrid}(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (5)$$

式中: $P_{wp}(t)$ 是风电功率原始值; $P_{hybrid}(t)$ 是平滑后的风储功率值;

为了使风储功率波动率控制在要求范围内, 制定如下控制策略:

如果 $k_{hybrid}^{drop} \leq k(t) \leq k_{hybrid}^{rise}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) \quad (6)$$

如果 $k(t) > k_{hybrid}^{rise}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) + \Delta t \cdot k_{hybrid}^{rise} \quad (7)$$

如果 $k(t) < k_{hybrid}^{drop}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) + \Delta t \cdot k_{hybrid}^{drop} \quad (8)$$

式中: k_{hybrid}^{rise} 是风电出力的上升阶段的变化率的限制值, k_{hybrid}^{drop} 是风电出力的下降阶段的变化率的限制值;

其中

$$k_{hybrid}^{rise} = \frac{P_{wp}^{rated} \times r_{obj}^T}{T} \quad (9)$$

$$k_{hybrid}^{drop} = -\frac{P_{wp}^{rated} \times r_{obj}^T}{T} \quad (10)$$

式中, r_{obj}^T 为波动率控制目标;

步骤 3-3、经过所述变化率控制策略平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T 的公式为:

$$r_{hybrid}^T = f_{hybrid} \left(\frac{P_{hybrid}^{\max} - P_{hybrid}^{\min}}{P_{hybrid}^{rated}} \right) \quad (11)$$

$$P_{hybrid}^{\max} = \max \{P_{hybrid}(t), P_{hybrid}(t - \Delta t), \dots, P_{hybrid}(t - (n-1)\Delta t)\} \quad (12)$$

$$P_{hybrid}^{\min} = \min \{P_{hybrid}(t), P_{hybrid}(t - \Delta t), \dots, P_{hybrid}(t - (n-1)\Delta t)\} \quad (13)$$

$$T = n\Delta t \quad (14)$$

式中: $P_{hybrid}^{\max}$ 和 $P_{hybrid}^{\min}$ 是观测时间 T 内的风储功率最大值和最小值;

变化率控制功率波动率方法的目标是控制平滑后的风储功率波动率在观测时间内小于给定目标值:

$$r_{hybrid}^T < r_{obj}^T \quad (15)$$

式中: r_{obj}^T 是给定观测时间 T 内风储功率波动率的控制目标;

步骤 3-4、所述储能系统功率的计算公式为:

$$P_{BESS}(t) = P_{hybrid}(t) - P_{wp}(t) \quad (16)$$

所述储能系统的荷电状态 SOC 的计算公式如下:

如果 $P_{BESS}(t) > 0$, 储能系统放电, SOC 减小,

$$SOC(t) = SOC(t - \Delta t) - \frac{\Delta t |P_{BESS}(t)|}{W_{bat}} \quad (17)$$

如果 $P_{BESS}(t) < 0$, 储能系统充电, SOC 增大,

$$SOC(t) = SOC(t - \Delta t) + \frac{\Delta t |P_{BESS}(t)|}{W_{bat}} \quad (18)$$

式中: W_{bat} 是储能系统容量。

可选地, 所述步骤 (4) 中, 所述初始化训练评价模块和执行模块包括: 初始化设置折扣因子 α 、执行模块学习率 l_a 和评价模块学习率 l_c 、执行模块权值 w_a 和评价模块权值 w_c , 最大循环次数, 以及训练模块的期望误差, 其中权值的初始值设置为 $(-1, +1)$ 间的随机值, 学习率和折扣因子依

据控制效果要求进行选取和调整。

可选地，所述步骤（5）包括如下步骤：

步骤 5-1、判断风储功率波动率 r_{hybrid}^T 是否在约束条件 $r_{lim}^T \leq r_{hybrid}^T < r_{obj}^T$ 内，若是则储能系统不动作，不对储能功率进行修正；否则进行下一步的自适应动态规划模块训练，寻求最优储能功率修正值；

步骤 5-2、将被控对象状态和所述控制策略作为评价模块的输入，训练评价模块，更新评价模块的权值，输出代价函数；

步骤 5-3、将被控对象状态包括风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和储能功率 $P_{BESS}(t)$ 作为执行模块的输入，训练执行模块，更新执行模块的权值，输出为控制策略，即储能功率的修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ ；

步骤 5-4、保存此时刻的控制策略，并计算下一时刻被控对象状态， $t=t+1$ ，重复步骤 5-1 到步骤 5-3，直到控制过程结束。

可选地，所述步骤 5-1 中，所述判断风储功率波动率 r_{hybrid}^T 的约束如下：

如果 $0 < r_{hybrid}^T < r_{lim}^T$ ，则储能系统过度出力，需要进行反向修正：

$$P_{BESS}^{ADP}(t) = P_{BESS}(t) + \Delta P_{BESS}(t) \quad (22)$$

式中， $\Delta P_{BESS}(t)$ 为储能功率修正值

如果 $r_{lim}^T \leq r_{hybrid}^T < r_{obj}^T$ ，储能系统出力适宜，无需修正：

$$P_{BESS}^{ADP}(t) = P_{BESS}(t) \quad (23)$$

式中： $P_{BESS}^{ADP}(t)$ 是在变化率控制策略的基础上，对储能功率进行自适应动态规划调节后的储能系统的功率。

可选地，所述步骤 5-2 包括如下步骤：

步骤 5-2-1、将所述被控对象状态即风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和所述控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 进行归一化处理为 $[-1, +1]$ 之间；

步骤 5-2-2、将所述被控对象状态即风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和所述控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 送入所述评价模块作为输入，计算所述评价模

块的输出 $J_c^{WPBESS}(t)$ 代价函数, 构造目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 训练所述评价模块, 并根据评价模块的权值更新式, 更新评价模块神经网络的权值, 计算公式如下:

$$U(t) = [r_{hybrid}^T, \Delta P_{BESS}(t), t] \quad (24)$$

$$J_{chybrid}(t) = J_c[r_{hybrid}^T, \Delta P_{BESS}(t), t, W_c] \quad (25)$$

$$E_{chybrid}(t) = \frac{1}{2} [J_{chybrid}(t) - U(t+1) - \beta_c J_{chybrid}(t+1)]^2 \quad (26)$$

式中: 代价函数 $J_{chybrid}(t)$ 为评价模块的输出, 效用函数 $U(t)$ 是关于 $r_{hybrid}^T, \Delta P_{BESS}(t), t$ 的函数, 根据控制目标进行定义, β_c 是折扣因子;

步骤 5-2-3、所述评价模块的训练采用梯度下降法或粒子群优化算法以使目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 最小化为目标来更新评价模块神经网络的权值 W_c , 当目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时, 训练完成。

可选地, 所述步骤 5-3 包括如下步骤:

步骤 5-3-1、将被控对象状态包括风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和储能功率 $P_{BESS}(t)$ 作为执行模块的输入, 训练执行模块;

步骤 5-3-2、通过最小化评价模块输出 $J_{chybrid}(t)$ 来调整控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$, 公式如下:

$$\Delta P_{BESS}(t) = u[r_{hybrid}^T, t, W_a] \quad (27)$$

$$E_{ahybrid}(t) = \frac{1}{2} [J_{chybrid}(t)]^2 \quad (28)$$

式中: 控制策略 $\Delta P_{BESS}(t)$ 是执行模块的输出, 用来调整储能功率在合理范围内变化, 以减小储能系统 SOC 波动范围, u 表示控制策略 $\Delta P_{BESS}(t)$ 是关于

r_{hybrid}^T, t, W_a 的函数;

步骤 5-3-3、所述执行模块的训练采用梯度下降法或粒子群优化算法以最小化目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 为目标来更新执行模块神经网络的权值 W_a , 当目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时, 训练完成。

可选地, 一种大规模储能电站自适应动态规划的控制系統, 所述系統

包括参数初始化模块、数据采集和计算模块、执行模块、评价模块及输出模块；

所述参数初始化模块，配置为设置自适应动态规划控制系统的结构和控制目标参数，并将所述目标参数传送到所述数据采集和计算模块；

5 所述数据采集和计算模块，配置为根据所述目标参数计算风储功率波动率，并将所述风储功率波动率传送到所述执行模块和评价模块；

所述执行模块，配置为根据所述风储功率波动率得到储能功率修正值，并将所述储能功率修正值传送到所述数据采集和计算模块、评价模块及输出模；

10 所述评价模块，配置为根据所述风储功率波动率得出代价函数，并将其传送到执行模块；

所述输出模块，配置为输出所述各个时刻的控制策略，平滑后的风储功率波动率，储能功率和储能系统荷电状态 SOC。

15 本发明实施例还提供另一种一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法，所述方法包括如下步骤：

计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T ，根据变化率控制策略对原始风电功率进行平滑，计算平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T ，并获得所储能系统功率 $P_{BESS}(t)$ ，储能系统的荷电状态 SOC；

20 判断所述 r_{hybrid}^T 、所述 $P_{BESS}(t)$ 及所述 SOC 是否在控制目标参数对应的约束范围内；

当所述 r_{hybrid}^T 、所述 $P_{BESS}(t)$ 及所述 SOC 不在所述约束范围内时，将所述 r_{hybrid}^T 输入到当前的执行模块；

当前的所述执行模块基于所述 r_{hybrid}^T 输出控制策略，其中，所述控制策

略用于控制所述大规模储能电站的储能系统的充放电功率；

将所述 r_{hybrid}^T 和当前控制策略输入到当前评价模块；

所述评价模块基于所述 r_{hybrid}^T 及所述当前控制策略时，输出代价函数；

基于所述 r_{hybrid}^T 及所述代价函数，构建训练所述评价模块的目标函数；

5 以最小化所述目标函数为训练目的，依据所述目标函数训练所述评价模块；

以最小化所述代价函数为目的，依据所述代价函数训练所述执行模块；
其中，重新训练的所述评价模块和执行模块，用于下一时刻的所述控制策略的输出。

10 基于上述方案，所述控制策略包括：储能功率修正值。

本发明实施例还提供另一种计算机存储介质，所述计算机存储介质中存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行上述任意一个或多个方法。

本发明实施例提出了一种基于自适应动态规划（ADP）的大型电池储能
15 电站自适应优化控制方法。本发明实施例提供的方法及系统综合考虑大规模电池储能电站荷电状态、新能源发电波动率反馈值以及基于神经网络的评价模块和执行模块等，有效实现了大规模电池储能系统整体充放电功率的自适应优化控制。本发明实施例提供的技术方案基于神经网络对控制算法进行实时智能优化，提高了控制系统自学习和自适应控制能力，实时
20 对储能系统出力进行自适应动态修正，使其满足风电并网的要求，同时，又控制储能电池荷电状态（SOC）保持在适宜的范围内，实现储能电池系统的合理充放电的功能，满足大规模储能系统实时充放电功率的优化控制目的。该方法可适用于不同规模等级的大型电池储能电站（系统）的充放电功率的优化控制与电池能量管理。

附图说明

图 1 是本发明实施例提供的一种大规模储能电站自适应动态规划的控制系统的结构图，

图 2 是本发明实施例提供的一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法的流程图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明实施例作进一步详细说明，应当理解，以下所说明的优选实施例仅用于说明和解释本发明，并不用于限定本发明。

如图 1 所示，为本发明实施例提供的一种大规模储能电站自适应动态规划的控制系统的结构图，该系统包括：

A、参数初始化模块。自适应动态规划控制系统选择评价模块和执行模块两层结构，每个模块均用三层神经网络结构来构建。执行模块和评价模块的参数包括折扣因子 α 、网络学习率 l_a 和 l_c 、权值 W_a 和 W_c ，最大循环次数，以及训练网络的期望误差。

控制目标参数包括风电发电容量 P_{wp}^{rated} ，储能系统容量 W_{bat} ，储能系统的荷电状态 SOC 限制范围，采样时间 Δt ，观测时间 T ，波动率控制目标 r_{obj}^T ，波动率限制目标 r_{lim}^T 。

被控对象的初始状态包括风电功率波动率的初始值，储能系统荷电状态 SOC 的初始值，当前时刻风电实际出力功率。这里的被控对象可为所述大规模储能电站。

B、数据采集和计算模块。采集风电实际出力功率，储能系统充放电功率，实时计算风电波动率和荷电状态，并实时判断状态量是否在约束范围内。当状态量不在约束范围内时，调整储能系统充放电功率。

C、评价模块。训练评价模块的具体如下：将风电波动率 r_{hybrid}^T 和控制策

略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 送入评价模块作为输入，计算评价模块的输出 $J_c^{WPBESS}(t)$ 代价函数，构造目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 训练评价模块，并根据评价模块的权值更新式，更新评价模块神经网络的权值；其中，风电波动率 r_{hybrid}^T 和控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 都应经归一化处理为 $[-1, 1]$ 后，再送入网络

5 进行计算。这里的目标函数是基于所述代价函数构建的。在构建出所述目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 之后，以最小化所述目标函数为训练目标，重新训练所述评价模块，训练好评价模块用于基于下一个采集时刻采集的风电波动率 r_{hybrid}^T 和执行模块输出的控制策略获得下一次执行模块训练的代价函数。

评价模块的训练以最小化目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 为目标来更新评价模块神经网络的权值 w_c ，当目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时，训练完成。

10

D、执行模块。训练执行模块的具体步骤如下：训练执行模块是依据最小化评价模块的输出 $J_{chybrid}(t)$ 来训练执行模块，并根据执行模块的权值更新式，更新执行模块神经网络的权值 w_a 。执行模块的训练是通过最小化评价

15 模块的输出 $J_{chybrid}(t)$ 来调整控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ ；通过最小化目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 为目标来更新执行模块神经网络的权值 w_a ，当目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时，训练完成。

值得注意的训练评价模块的目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 与训练执行模块的目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 是不同的，所述 $E_{ahybrid}(t)$ 是与代价函数 $J_{chybrid}(t)$ 的取值正相关的，故

20 即在训练所述执行模块时，是以最小化所述 $E_{ahybrid}(t)$ 为目的训练所述执行模块的。

E、输出模块。保存并实时输出各时刻的控制策略，实时在线调整调整平滑过程，控制储能系统充放电功率。这里是利用控制策略控制储能系统的充放电功率。

综上所述，本发明在综合考虑新能源发电出力波动率和大规模电池储

25

能系统荷电状态的条件下,通过自适应动态规划算法实时调节大规模储能电站实时功率,实现了综合考虑新能源发电与大规模储能系统联合并网运行的控制效果、大规模储能系统容量等的储能系统充放电功率的最优解的求解。由于自适应动态规划(ADP: Adaptive Dynamic Programming)算法
5 不依赖被控系统或者过程精确的数学模型,具有在线自学习的能力,可以自动适应系统参数的变化,鲁棒性强。因此本发明通过将自适应动态规划算法考虑至自适应平滑控制中,实时了新能源发电出力平滑的在线自适应调节,优化大规模电池储能系统的控制效果。

如图 2 所示,为本发明实施例提供的一种大规模储能电站自适应动态
10 规划的控制方法,该方法具体步骤如下:

步骤 1、设置自适应动态规划控制系统的结构,执行模块和评价模块的参数,以及控制目标参数。

自适应动态规划控制系统包括评价模块和执行模块的两层结构,(或者模型模块、评价模块和执行模块的三层结构),每个模块均用三层神经网络结构来构建。执行模块和评价模块的参数包括折扣因子 α 、网络学习率 l_a
15 和 l_c 、权值 w_a 和 w_c ,最大循环次数,以及训练网络的期望误差。其中权值的初始值设置为 $(-1, +1)$ 间的随机值,学习率和折扣因子依据控制效果要求进行选取和调整。综合考虑被控对象的具体情况和神经网络的收敛速度、计算结果的精确度,协同优化后选取合适的神经网络模型(包括网络的类型、结构、网络参数和训练模式),图 2 中的动作网络对应于本申请的执行
20 模块的神经网络。图 2 中的评价网络为评价模块的神经网络。

控制目标参数包括风电发电容量 P_{wp}^{rated} ,储能系统容量 w_{bat} ,储能系统的荷电状态 SOC 限制范围,采样时间 Δt ,观测时间 T ,波动率控制目标 r_{obj}^T ,波动率限制目标 r_{lim}^T 。

25 步骤 2、初始化参数并导入被控对象的初始状态;

初始化参数并导入被控对象的初始状态包括风电功率波动率的初始值, 储能系统荷电状态 SOC 的初始值, 当前时刻风电实际出力功率。

步骤 3、计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T , 根据变化率控制策略对原始风电功率进行平滑; 计算平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T , 储能系统功率 $P_{BESS}(t)$, 储能系统的荷电状态 SOC;

步骤 4、初始化训练评价模块和执行模块;

计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T , 利用变化率控制策略对原始功率波动率进行平滑, 计算方法如下:

根据风电功率原始值 $P_{wp}(t)$ 、平滑后的风储功率值 $P_{hybrid}(t)$ 、采样时间 Δt 定义了风电功率的变化率 $k(t)$:

$$k(t) = \frac{P_{wp}(t) - P_{hybrid}(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (5)$$

式中: $P_{wp}(t)$ 是风电功率原始值; $P_{hybrid}(t)$ 是平滑后的风储功率值。

为了使风储功率波动率控制在要求范围内, 制定如下控制策略:

如果 $k_{hybrid}^{drop} \leq k(t) \leq k_{hybrid}^{rise}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) \quad (6)$$

如果 $k(t) > k_{hybrid}^{rise}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) + \Delta t \cdot k_{hybrid}^{rise} \quad (7)$$

如果 $k(t) < k_{hybrid}^{drop}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) + \Delta t \cdot k_{hybrid}^{drop} \quad (8)$$

其中: k_{hybrid}^{rise} 是风电出力的上升阶段的变化率的限制值; k_{hybrid}^{drop} 是风电出力的下降阶段的变化率的限制值, 二者定义为:

$$k_{hybrid}^{rise} = \frac{P_{wp}^{rated} \times r_{obj}^T}{T} \quad (9)$$

$$k_{hybrid}^{drop} = -\frac{P_{wp}^{rated} \times r_{obj}^T}{T} \quad (10)$$

经过变化率控制策略平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T 定义为:

$$r_{hybrid}^T = f_{hybrid} \left(\frac{P_{hybrid}^{\max} - P_{hybrid}^{\min}}{P_{hybrid}^{rated}} \right) \quad (11)$$

$$P_{hybrid}^{\max} = \max \{P_{hybrid}(t), P_{hybrid}(t-\Delta t), \dots, P_{hybrid}(t-(n-1)\Delta t)\} \quad (12)$$

$$P_{hybrid}^{\min} = \min \{P_{hybrid}(t), P_{hybrid}(t-\Delta t), \dots, P_{hybrid}(t-(n-1)\Delta t)\} \quad (13)$$

$$T = n\Delta t \quad (14)$$

5 上四式中: $P_{hybrid}^{\max}$ 和 $P_{hybrid}^{\min}$ 是观测时间 T 内的风储功率最大值和最小值。

变化率控制功率波动率的方法的目标是控制平滑后的风储功率的波动率在观测时间内小于给定目标值:

$$r_{hybrid}^T < r_{obj}^T \quad (15)$$

式中: r_{obj}^T 是给定观测时间 T 内风储功率波动率的控制目标。

10 储能系统充放电功率可以根据上面几式计算得到, 在 t 时刻的储能功率为:

$$P_{BESS}(t) = P_{hybrid}(t) - P_{wp}(t) \quad (16)$$

储能系统的荷电状态 SOC 的计算公式如下:

如果 $P_{BESS}(t) > 0$, 储能系统放电, SOC 减小。

$$15 \quad SOC(t) = SOC(t-\Delta t) - \frac{\Delta t |P_{BESS}(t)|}{W_{bat}} \quad (17)$$

如果 $P_{BESS}(t) < 0$, 储能系统充电, SOC 增大。

$$SOC(t) = SOC(t-\Delta t) + \frac{\Delta t |P_{BESS}(t)|}{W_{bat}} \quad (18)$$

其中: W_{bat} 是储能系统容量。

步骤 5、判断风储功率波动率 r_{hybrid}^T 是否在约束条件 $r_{lim}^T \leq r_{hybrid}^T < r_{obj}^T$ 内, 若不在约束范围内, 则进行下一步的 ADP 网络训练, 寻求最优储能功率修正值; 若在约束范围内, 则储能系统不动作, 不对储能功率进行修正;

确定 ADP 是否需要调节储能功率的具体操作为: 基于储能系统的储能功率 $P_{BESS}(t)$ 和变化率控制后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T , 引入一个新的限制风储功率波动率的值, 定义该值为 r_{lim}^T 。结合该限制值和波动率控制目标 r_{obj}^T , 制

定以下的控制策略:

如果 $0 < r_{hybrid}^T < r_{lim}^T$, 储能系统过度出力, 需要进行反向修正。

$$P_{BESS}^{ADP}(t) = P_{BESS}(t) + \Delta P_{BESS}(t) \quad (22)$$

如果 $r_{lim}^T \leq r_{hybrid}^T < r_{obj}^T$, 储能系统出力适宜, 无需修正。

$$P_{BESS}^{ADP}(t) = P_{BESS}(t) \quad (23)$$

式中: $P_{BESS}^{ADP}(t)$ 是在变化率控制策略的基础上, 对储能功率进行 ADP 调节后的储能系统的功率。

步骤 6、将被控对象状态, 即风储功率波动率 r_{hybrid}^T 、储能功率 $P_{BESS}(t)$ 作为执行网络的输入, 训练执行网络, 更新执行网络的权值, 输出为控制策略, 即储能功率的修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$;

训练执行网络的具体步骤如下:

训练执行模块是依据最小化评价模块的输出 $J_{chybrid}(t)$ 来训练执行模块, 并根据执行模块的权值更新式, 更新执行模块神经网络的权值 W_a 。执行模块的训练是通过最小化评价模块的输出 $J_{chybrid}(t)$ 来调整控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$; 通过最小化目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 为目标来更新执行模块神经网络的权值 W_a , 当目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时, 训练完成。

步骤 7、将被控对象状态和控制策略作为评价网络的输入, 训练评价网络, 更新评价网络的权值, 输出为代价函数;

训练评价网络的具体步骤如下:

将风电波动率 r_{hybrid}^T 和控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 送入评价模块作为输入, 计算评价模块的输出 $J_c^{WPBESS}(t)$ 代价函数, 构造目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 训练评价模块, 并根据评价模块的权值更新式, 更新评价模块神经网络的权值; 其中, 风电波动率 r_{hybrid}^T 和控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 都应经归一化处理为 $[-1, +1]$ 后, 再送入网络进行计算。

评价模块的训练以最小化目标函数 $E_{\text{hybrid}}(t)$ 为目标来更新评价模块神经网络的权值 w_c ，当目标函数 $E_{\text{hybrid}}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时，训练完成。

步骤 8、保存此时刻的控制策略，并计算下一时刻被控对象的状态，

5 $t=t+1$ ，重复步骤 5 到 7；

步骤 9、循环上述步骤，直至控制过程结束，并输出各时刻的控制策略，平滑后的风储功率波动率 $r_{\text{hybrid}}^{\text{ADP}}$ ，储能功率 $P_{\text{BESS}}^{\text{ADP}}(t)$ 和储能系统 SOC。

本发明实施例还提供另一种一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法，所述方法包括如下步骤：

10 计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T ，根据变化率控制策略对原始风电功率进行平滑，计算平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T ，并获得所储能系统功率 $P_{\text{BESS}}(t)$ ，储能系统的荷电状态 SOC；

判断所述 r_{hybrid}^T 、所述 $P_{\text{BESS}}(t)$ 及所述 SOC 是否在控制目标参数对应的约束范围内；

15 当所述 r_{hybrid}^T 、所述 $P_{\text{BESS}}(t)$ 及所述 SOC 不在所述约束范围内时，将所述 r_{hybrid}^T 输入到当前的执行模块；

当前的所述执行模块基于所述 r_{hybrid}^T 输出控制策略，其中，所述控制策略用于控制所述大规模储能电站的储能系统的充放电功率；

将所述 r_{hybrid}^T 和当前控制策略输入到当前评价模块；

20 所述评价模块基于所述 r_{hybrid}^T 及所述当前控制策略时，输出代价函数；

基于所述 r_{hybrid}^T 及所述代价函数，构建训练所述评价模块的目标函数；

以最小化所述目标函数为训练目的，依据所述目标函数训练所述评价

模块;

以最小化所述代价函数为目的,依据所述代价函数训练所述执行模块;其中,重新训练的所述评价模块和执行模块,用于下一时刻的所述控制策略的输出。

5 在本实施例中当所述 $P_{BESS}(t)$ 可包括充电功率和放电功率,当所述充电功率位于允许的最大充电功率和最小功率之间,所述放电功率位于允许的最大的放电功率和最小的放大功率之间,则认为位于所述约束范围内。通常最小充电功率和放大放电功率均为 0。

所述 SOC 小于春能系统工作时允许的最大荷电状态,大于工作时允许
10 的最小荷电状态,则 SOC 位于约束范围内。

所述 r_{hybrid}^T 小于目标值,则认为所述 r_{hybrid}^T 位于约束范围内;只有当三个参数都位于对应的约束范围内时,则认为当前不需要调整,不需要输出控制策略,否则将这些参数中的一个或多个输入到当前的执行模块,以输出当前的控制策略,控制储能系统的充放电功率,并重新训练执行模块及
15 评价模块,方便后续更加精确的控制大规模储能电站的储能系统。

所述控制策略包括:储能功率修正值。所述大规模储能电站的储能系统,根据所述储能功率修正值,调整自身的充放电功率。

本发明实施例还提供另一种计算机存储介质,所述计算机存储介质中存储有计算机可执行指令,所述计算机可执行指令用于执行上述任意一个
20 或多个方法。

本实施例所述的计算机存储介质可为各种类型的存储介质,可选为非瞬间存储介质。

如图 1 所示,种大规模储能电站自适应动态规划的控制系統,其中,所述系統包括参数初始化模块、数据采集和计算模块、执行模块、评价模
25 块及输出模块;

所述参数初始化模块，配置为设置自适应动态规划控制系统的结构和控制目标参数，并将所述目标参数传送到所述数据采集和计算模块；

所述数据采集和计算模块，用于根据所述目标参数计算风储功率波动率，并将所述风储功率波动率传送到所述执行模块和评价模块；

- 5 所述执行模块，配置为根据所述风储功率波动率得到储能功率修正值，并将所述储能功率修正值传送到所述数据采集和计算模块、评价模块及输出模；

所述评价模块，配置为根据所述风储功率波动率得出代价函数，并将其传送到执行模块；

- 10 所述输出模块，配置为输出所述各个时刻的控制策略，平滑后的风储功率波动率，储能功率和储能系统荷电状态 SOC。

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，但凡按照本发明原理所作的修改，都应当理解为落入本发明的保护范围。

权利要求书

1. 一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法，所述方法包括如下步骤：

(1) 设置自适应动态规划控制系统的结构和控制目标参数；

5 (2) 初始化参数并导入被控对象的初始状态；

(3) 计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T ，根据变化率控制方法对原始风电功率进行平滑；计算平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T ，储能系统功率 $P_{BESS}(t)$ ，储能系统的荷电状态 SOC；

(4) 初始化训练评价模块和执行模块；

10 (5) 计算每个时刻的控制策略，平滑后的风储功率波动率，储能功率和储能系统荷电状态 SOC，并进行保存；

(6) 输出所述各个时刻的控制策略，平滑后的风储功率波动率，储能功率和储能系统荷电状态 SOC。

15 2. 根据权利要求 1 所述控制方法，其中，所述步骤 (1) 中，所述自适应动态规划控制系统包括评价模块和执行模块的两层结构，每个模块均用三层神经网络结构来构建；所述控制目标参数包括风电发电容量 P_{wp}^{rated} 、储能系统容量 W_{bat} 、储能系统的荷电状态 SOC 限制范围、采样时间 Δt 、观测时间 T 、波动率控制目标 r_{obj}^T 和波动率限制目标 r_{lim}^T 。

20 3. 根据权利要求 1 所述控制方法，其中，所述步骤 (2) 中，所述初始化参数包括风电功率波动率的初始值，储能系统荷电状态 SOC 的初始值，当前时刻风电实际出力功率。

4. 根据权利要求 1 所述控制方法，其中，所述步骤 (3) 包括如下步骤：
步骤 3-1、所述的当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T 的计算公式如下：

$$r_{wp}^T = f_{wp} \left(\frac{P_{wp}^{\max} - P_{wp}^{\min}}{P_{wp}^{\text{rated}}} \right) \quad (1)$$

$$P_{wp}^{\max} = \max \{ P_{wp}(t), P_{wp}(t - \Delta t), \dots, P_{wp}(t - (n-1)\Delta t) \} \quad (2)$$

$$P_{wp}^{\min} = \min \{ P_{wp}(t), P_{wp}(t - \Delta t), \dots, P_{wp}(t - (n-1)\Delta t) \} \quad (3)$$

$$T = n\Delta t \quad (4)$$

5 式中: P_{wp}^{rated} 是风电容量, 即额定功率, $P_{wp}^{\max}$ 和 $P_{wp}^{\min}$ 是观测时间内的风电功率最大值和最小值, Δt 是采样时间, T 为观测时间, $P_{wp}(t)$ 为风电功率的原始值, f_{wp} 计算风电功率波动率的原始函数, n 为在观测时间内的采样点数;

步骤 3-2、根据变化率控制方法对所述风电功率的原始值进行平滑;

10 所述变化率控制方法的计算方法如下:

根据风电功率原始值 $P_{wp}(t)$ 、平滑后的风电功率值 $P_{hybrid}(t)$ 、采样时间 Δt 定义了风电功率的变化率 $k(t)$:

$$k(t) = \frac{P_{wp}(t) - P_{hybrid}(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (5)$$

式中: $P_{wp}(t)$ 是风电功率原始值; $P_{hybrid}(t)$ 是平滑后的风储功率值;

15 为了使风储功率波动率控制在要求范围内, 制定如下控制策略:

如果 $k_{hybrid}^{\text{drop}} \leq k(t) \leq k_{hybrid}^{\text{rise}}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) \quad (6)$$

如果 $k(t) > k_{hybrid}^{\text{rise}}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) + \Delta t \cdot k_{hybrid}^{\text{rise}} \quad (7)$$

20 如果 $k(t) < k_{hybrid}^{\text{drop}}$

$$P_{hybrid}(t) = P_{wp}(t - \Delta t) + \Delta t \cdot k_{hybrid}^{\text{drop}} \quad (8)$$

式中: k_{hybrid}^{rise} 是风电出力的上升阶段的变化率的限制值, k_{hybrid}^{drop} 是风电出力的下降阶段的变化率的限制值;

其中

$$k_{hybrid}^{rise} = \frac{P_{wp}^{rated} \times r_{obj}^T}{T} \quad (9)$$

$$k_{hybrid}^{drop} = -\frac{P_{wp}^{rated} \times r_{obj}^T}{T} \quad (10)$$

式中, r_{obj}^T 为波动率控制目标;

5 步骤 3-3、经过所述变化率控制方法平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T 的公式为:

$$r_{hybrid}^T = f_{hybrid} \left(\frac{P_{hybrid}^{max} - P_{hybrid}^{min}}{P_{hybrid}^{rated}} \right) \quad (11)$$

$$P_{hybrid}^{max} = \max \{ P_{hybrid}(t), P_{hybrid}(t - \Delta t), \dots, P_{hybrid}(t - (n-1)\Delta t) \} \quad (12)$$

$$P_{hybrid}^{min} = \min \{ P_{hybrid}(t), P_{hybrid}(t - \Delta t), \dots, P_{hybrid}(t - (n-1)\Delta t) \} \quad (13)$$

$$10 \quad T = n\Delta t \quad (14)$$

式中: P_{hybrid}^{max} 和 P_{hybrid}^{min} 是观测时间 T 内的风储功率最大值和最小值;

变化率控制功率波动率方法的目标是控制平滑后的风储功率波动率在观测时间内小于给定目标值:

$$r_{hybrid}^T < r_{obj}^T \quad (15)$$

15 式中: r_{obj}^T 是给定观测时间 T 内风储功率波动率的控制目标;

步骤 3-4、所述储能系统功率的计算公式为:

$$P_{BESS}(t) = P_{hybrid}(t) - P_{wp}(t) \quad (16)$$

所述储能系统的荷电状态 SOC 的计算公式如下:

如果 $P_{BESS}(t) > 0$, 储能系统放电, SOC 减小,

$$20 \quad SOC(t) = SOC(t - \Delta t) - \frac{\Delta t |P_{BESS}(t)|}{W_{bat}} \quad (17)$$

如果 $P_{BESS}(t) < 0$, 储能系统充电, SOC 增大,

$$SOC(t) = SOC(t - \Delta t) + \frac{\Delta t |P_{BESS}(t)|}{W_{bat}} \quad (18)$$

式中: W_{bat} 是储能系统容量。

5 5. 根据权利要求 1 所述控制方法, 其中, 所述步骤 (4) 中, 所述初始化训练评价模块和执行模块包括: 初始化设置折扣因子 α 、执行模块学习率 l_a 和评价模块学习率 l_c 、执行模块权值 W_a 和评价模块权值 W_c , 最大循环次数, 以及训练模块的期望误差, 其中权值的初始值设置为 $(-1, +1)$ 间的随机值, 学习率和折扣因子依据控制效果要求进行选取和调整。

6. 根据权利要求 1 所述控制方法, 其中, 所述步骤 (5) 包括如下步骤:

10 步骤 5-1、判断风储功率波动率 r_{hybrid}^T 是否在约束条件 $r_{lim}^T \leq r_{hybrid}^T < r_{obj}^T$ 内, 若是则储能系统不动作, 不对储能功率进行修正; 否则进行下一步的自适应动态规划模块训练, 寻求最优储能功率修正值;

步骤 5-2、将被控对象状态和所述控制策略作为评价模块的输入, 训练评价模块, 更新评价模块的权值, 输出代价函数;

15 步骤 5-3、将被控对象状态包括风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和储能功率 $P_{BESS}(t)$ 作为执行模块的输入, 训练执行模块, 更新执行模块的权值, 输出为控制策略, 即储能功率的修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$;

步骤 5-4、保存此时刻的控制策略, 并计算下一时刻被控对象状态, $t=t+1$, 重复步骤 5-1 到步骤 5-3, 直到控制过程结束。

20 7. 根据权利要求 6 所述控制方法, 其中, 所述步骤 5-1 中, 所述判断风储功率波动率 r_{hybrid}^T 的约束如下:

如果 $0 < r_{hybrid}^T < r_{lim}^T$, 则储能系统过度出力, 需要进行反向修正:

$$P_{BESS}^{ADP}(t) = P_{BESS}(t) + \Delta P_{BESS}(t) \quad (22)$$

式中, $\Delta P_{BESS}(t)$ 为储能功率修正值

如果 $r_{lim}^T \leq r_{hybrid}^T < r_{obj}^T$, 储能系统出力适宜, 无需修正:

$$P_{BESS}^{ADP}(t) = P_{BESS}(t) \quad (23)$$

式中： $P_{BESS}^{ADP}(t)$ 是在变化率控制方法的基础上，对储能功率进行自适应动态规划调节后的储能系统的功率。

8. 根据权利要求 6 所述控制方法，其中，所述步骤 5-2 包括如下步骤：

5 步骤 5-2-1、将所述被控对象状态即风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和所述控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 进行归一化处理为 $[-1, 1]$ 之间；

步骤 5-2-2、将所述被控对象状态即风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和所述控制策略即储能功率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ 送入所述评价模块作为输入，计算所述评价模块的输出 $J_c^{WPBESS}(t)$ 代价函数，构造目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 训练所述评价模块，
10 并根据评价模块的权值更新式，更新评价模块神经网络的权值，计算公式如下：

$$U(t) = [r_{hybrid}^T, \Delta P_{BESS}(t), t] \quad (24)$$

$$J_{chybrid}(t) = J_c[r_{hybrid}^T, \Delta P_{BESS}(t), t, W_c] \quad (25)$$

$$E_{chybrid}(t) = \frac{1}{2} [J_{chybrid}(t) - U(t+1) - \beta_c J_{chybrid}(t+1)]^2 \quad (26)$$

15 式中：代价函数 $J_{chybrid}(t)$ 为评价模块的输出，效用函数 $U(t)$ 是关于 $r_{hybrid}^T, \Delta P_{BESS}(t), t$ 的函数，根据控制目标进行定义， β_c 是折扣因子；

步骤 5-2-3、所述评价模块的训练采用梯度下降法或粒子群优化算法以使目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 最小化为目标来更新评价模块神经网络的权值 W_c ，当目标函数 $E_{chybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时，训练完成。

20 9. 根据权利要求 6 所述控制方法，其中，所述步骤 5-3 包括如下步骤：

步骤 5-3-1、将被控对象状态包括风储功率波动率 r_{hybrid}^T 和储能功率 $P_{BESS}(t)$ 作为执行模块的输入，训练执行模块；

步骤 5-3-2、通过最小化评价模块输出 $J_{chybrid}(t)$ 来调整控制策略即储能功

率修正值 $\Delta P_{BESS}(t)$ ，公式如下：

$$\Delta P_{BESS}(t) = u[r_{hybrid}^T, t, W_a] \quad (27)$$

$$E_{ahybrid}(t) = \frac{1}{2} [J_{chybrid}(t)]^2 \quad (28)$$

式中：控制策略 $\Delta P_{BESS}(t)$ 是执行模块的输出，用来调整储能功率在合理范围内变化，以减小储能系统 SOC 波动范围， u 表示控制策略 $\Delta P_{BESS}(t)$ 是关于 r_{hybrid}^T, t, W_a 的函数；

步骤 5-3-3、所述执行模块的训练采用梯度下降法或粒子群优化算法以最小化目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 为目标来更新执行模块神经网络的权值 W_a ，当目标函数 $E_{ahybrid}(t)$ 减小到设定的误差值或迭代次数达到最大时，训练完成。

10. 一种大规模储能电站自适应动态规划的控制系統，其中，所述系統包括参数初始化模块、数据采集和计算模块、执行模块、评价模块及输出模块；

所述参数初始化模块，配置为设置自适应动态规划控制系統的结构和控制目标参数，并将所述目标参数传送到所述数据采集和计算模块；

所述数据采集和计算模块，用于根据所述目标参数计算风储功率波动率，并将所述风储功率波动率传送到所述执行模块和评价模块；

所述执行模块，配置为根据所述风储功率波动率得到储能功率修正值，并将所述储能功率修正值传送到所述数据采集和计算模块、评价模块及输出模；

所述评价模块，配置为根据所述风储功率波动率得出代价函数，并将其传送到执行模块；

所述输出模块，配置为输出所述各个时刻的控制策略，平滑后的风储功率波动率，储能功率和储能系統荷电状态 SOC。

11. 一种大规模储能电站自适应动态规划的控制方法，所述方法包括

如下步骤:

计算当前时刻 t 的原始风电功率波动率 r_{wp}^T , 根据变化率控制策略对原始风电功率进行平滑, 计算平滑后的风储功率波动率 r_{hybrid}^T , 并获得所储能系统功率 $P_{BESS}(t)$, 储能系统的荷电状态 SOC;

- 5 判断所述 r_{hybrid}^T 、所述 $P_{BESS}(t)$ 及所述 SOC 是否在控制目标参数对应的约束范围内;

当所述 r_{hybrid}^T 、所述 $P_{BESS}(t)$ 及所述 SOC 不在所述约束范围内时, 将所述 r_{hybrid}^T 输入到当前的执行模块;

- 10 当前的所述执行模块基于所述 r_{hybrid}^T 输出控制策略, 其中, 所述控制策略用于控制所述大规模储能电站的储能系统的充放电功率;

将所述 r_{hybrid}^T 和当前控制策略输入到当前评价模块;

所述评价模块基于所述 r_{hybrid}^T 及所述当前控制策略时, 输出代价函数;

基于所述 r_{hybrid}^T 及所述代价函数, 构建训练所述评价模块的目标函数;

- 15 以最小化所述目标函数为训练目的, 依据所述目标函数训练所述评价模块;

以最小化所述代价函数为目的, 依据所述代价函数训练所述执行模块; 其中, 重新训练的所述评价模块和执行模块, 用于下一时刻的所述控制策略的输出。

- 20 12、根据权利要求 11 所述的方法, 其中, 所述控制策略包括: 储能功率修正值。

13、一种计算机存储介质, 所述计算机存储介质中存储有计算机可执行指令, 所述计算机可执行指令用于执行权利要求 1 至 9 及 11 至 12 任一

项所述的方法。

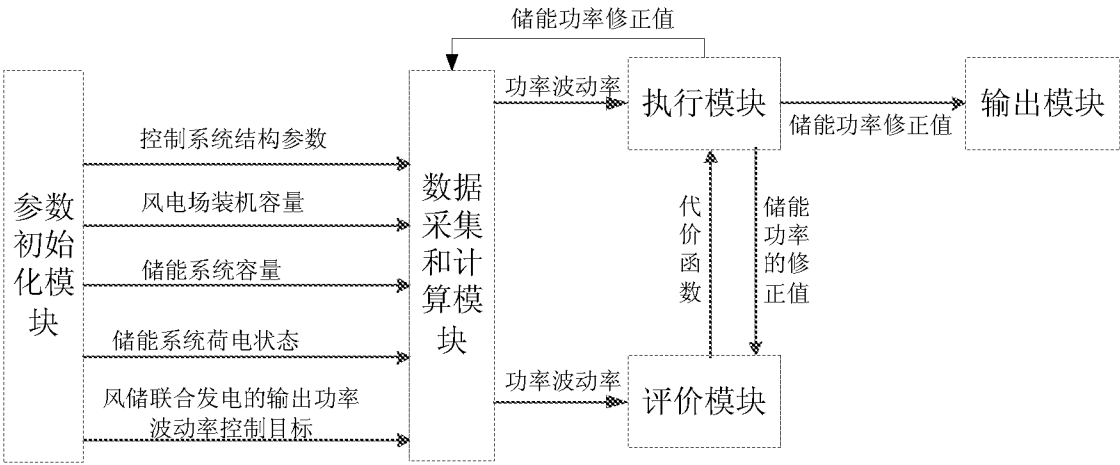


图 1

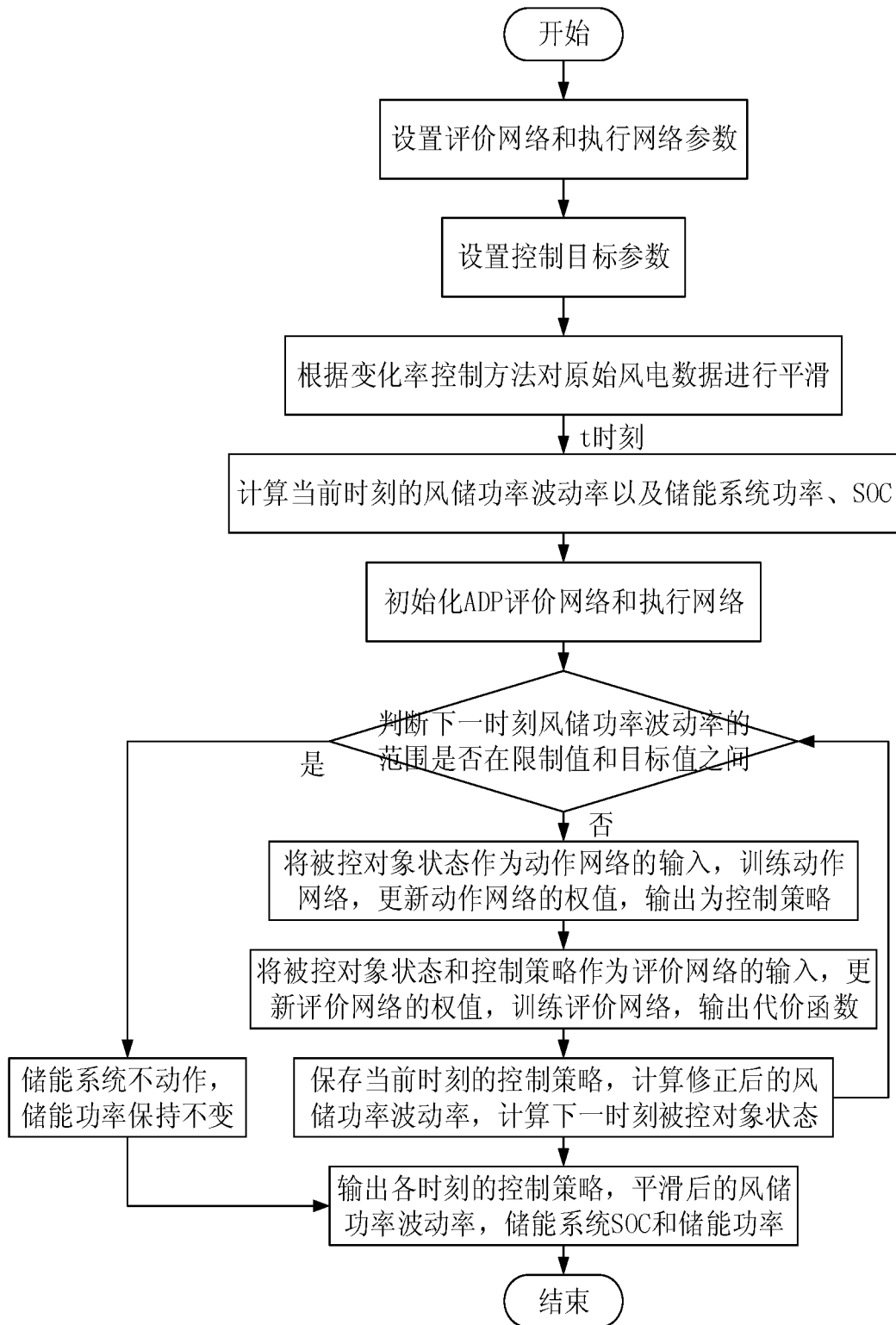


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/082564

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/28 (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)

H02J

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)
CNPAT, CNKI, IEEE, WPI, EPODOC: LI, Xiangjun; HE, Yuting; ZHANG, Jingqiong; HUI, Dong; JIA, Xuecui; energy storage, new energy, state of charge, power, storage system, wind power, adaptive dynamic programming, ADP, control, battery, hybrid, fluctuation, smooth, BESS, SOC, charge+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105846461 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 10 August 2016 (10.08.2016), claims 1-10, description, paragraphs [0098]-[0162], and figures 1-2	1-13
PX	LI, Xiangjun et al., "Optimal Control Method of Energy Storage System Based on Adaptive Dynamic Programming", POWER SYSTEM TECHNOLOGY, vol. 40, no. 5, 31 May 2016 (31.05.2016), ISSN: 1000-3673, pages 1355-1362	1-13
A	CN 102738817 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY), 17 October 2012 (17.10.2012), description, paragraphs [0002] and [0029]-[0054], and figures 1-2 and 5	1-13
A	CN 104022503 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 03 September 2014 (03.09.2014), the whole document	1-13
A	CN 103956758 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA), 30 July 2014 (30.07.2014), the whole document	1-13
A	WO 2015054878 A1 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 23 April 2015 (23.04.2015), the whole document	1-13
A	EP 1022838 A2 (HITACHI, LTD. et al.), 26 July 2000 (26.07.2000), the whole document	1-13

☐ 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 17 July 2017 (17.07.2017)	Date of mailing of the international search report 28 July 2017 (28.07.2017)
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 KONG, Shuhong Telephone No.: (86-10) 62413986

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2017/082564

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105846461 A	10 August 2016	None	
CN 102738817 A	17 October 2012	CN 102738817 B	07 May 2014
CN 104022503 A	03 September 2014	CN 104022503 B	04 January 2017
CN 103956758 A	30 July 2014	CN 103956758 B	21 October 2015
WO 2015054878 A1	23 April 2015	US 2016233679 A1	11 August 2016
EP 1022838 A2	26 July 2000	JP 3755075 B2	15 March 2006
		JP 2000217257 A	04 August 2000
		US 2003015876 A1	23 January 2003

A. 主题的分类 H02J 3/28(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) H02J 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)) CNPAT, CNKI, IEEE, WPI, EPDOC: 李相俊, 何宇婷, 张晶琼, 惠东, 贾学翠, 储能, 风电, 新能源, 自适应动态规划, 控制, 荷电状态, 功率, 波动, 平滑, storage system, wind power, adaptive dynamic programming, ADP, control, battery, hybrid, fluctuation, smooth, BESS, SOC, charg+																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 105846461 A (中国电力科学研究院 等) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 权利要求1-10, 说明书第[0098]-[0162]段, 图1-2</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>李相俊 等. "基于自适应动态规划的储能系统优化控制方法," 电网技术, , 第40卷, 第5期, 2016年 5月 31日 (2016 - 05 - 31), ISSN: 1000-3673, 第1355-1362页</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102738817 A (华北电力大学) 2012年 10月 17日 (2012 - 10 - 17) 说明书第[0002]、[0029]-[0054]段, 图1-2、5</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104022503 A (中国科学院自动化研究所) 2014年 9月 3日 (2014 - 09 - 03) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103956758 A (电子科技大学) 2014年 7月 30日 (2014 - 07 - 30) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2015054878 A1 (中国电力科学研究院 等) 2015年 4月 23日 (2015 - 04 - 23) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 1022838 A2 (HITACHI, LTD. 等) 2000年 7月 26日 (2000 - 07 - 26) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 105846461 A (中国电力科学研究院 等) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 权利要求1-10, 说明书第[0098]-[0162]段, 图1-2	1-13	PX	李相俊 等. "基于自适应动态规划的储能系统优化控制方法," 电网技术, , 第40卷, 第5期, 2016年 5月 31日 (2016 - 05 - 31), ISSN: 1000-3673, 第1355-1362页	1-13	A	CN 102738817 A (华北电力大学) 2012年 10月 17日 (2012 - 10 - 17) 说明书第[0002]、[0029]-[0054]段, 图1-2、5	1-13	A	CN 104022503 A (中国科学院自动化研究所) 2014年 9月 3日 (2014 - 09 - 03) 全文	1-13	A	CN 103956758 A (电子科技大学) 2014年 7月 30日 (2014 - 07 - 30) 全文	1-13	A	WO 2015054878 A1 (中国电力科学研究院 等) 2015年 4月 23日 (2015 - 04 - 23) 全文	1-13	A	EP 1022838 A2 (HITACHI, LTD. 等) 2000年 7月 26日 (2000 - 07 - 26) 全文	1-13
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 105846461 A (中国电力科学研究院 等) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 权利要求1-10, 说明书第[0098]-[0162]段, 图1-2	1-13																								
PX	李相俊 等. "基于自适应动态规划的储能系统优化控制方法," 电网技术, , 第40卷, 第5期, 2016年 5月 31日 (2016 - 05 - 31), ISSN: 1000-3673, 第1355-1362页	1-13																								
A	CN 102738817 A (华北电力大学) 2012年 10月 17日 (2012 - 10 - 17) 说明书第[0002]、[0029]-[0054]段, 图1-2、5	1-13																								
A	CN 104022503 A (中国科学院自动化研究所) 2014年 9月 3日 (2014 - 09 - 03) 全文	1-13																								
A	CN 103956758 A (电子科技大学) 2014年 7月 30日 (2014 - 07 - 30) 全文	1-13																								
A	WO 2015054878 A1 (中国电力科学研究院 等) 2015年 4月 23日 (2015 - 04 - 23) 全文	1-13																								
A	EP 1022838 A2 (HITACHI, LTD. 等) 2000年 7月 26日 (2000 - 07 - 26) 全文	1-13																								
☐ 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 2017年 7月 17日		国际检索报告邮寄日期 2017年 7月 28日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 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 孔舒红 电话号码 (86-10)62413986																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/082564

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105846461	A	2016年 8月 10日	无	
CN	102738817	A	2012年 10月 17日	CN	102738817 B 2014年 5月 7日
CN	104022503	A	2014年 9月 3日	CN	104022503 B 2017年 1月 4日
CN	103956758	A	2014年 7月 30日	CN	103956758 B 2015年 10月 21日
WO	2015054878	A1	2015年 4月 23日	US	2016233679 A1 2016年 8月 11日
EP	1022838	A2	2000年 7月 26日	JP	3755075 B2 2006年 3月 15日
				JP	2000217257 A 2000年 8月 4日
				US	2003015876 A1 2003年 1月 23日