(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)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2013/174145 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/18 (2006.01) *H02J 13/00* (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/000578

(22) 国际申请日: 2013 年 5 月 15 日 (15.05.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201210162209.9 2012 年 5 月 23 日 (23.05.2012) CN

(71) 申请人: **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)。 **甘肃省电力公司 (GANSU ELECTRIC POWER CORPORATION)** [CN/CN]; 中国甘肃省兰州市城关区北滨河东路 8 号, Gansu 730030 (CN)。 **甘肃省电力公司电力科学研究院 (GANSU ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE)** [CN/CN]; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。

(72) 发明人: **郑伟 (ZHENG, Wei)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **王维洲 (WANG, Weizhou)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **韩旭杉 (HAN, Xushan)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **拜润卿 (BAI, Runqing)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **梁琛 (LIANG, Chen)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **马超 (MA, Chao)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **杨勇 (YANG, Yong)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **温志伟 (WEN, Zhiwei)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。 **安亮亮 (AN, Liangliang)**; 中国甘肃省兰州市七里河区西津东路 648 号, Gansu 730050 (CN)。

[见续页]

(54) **Title**: LARGE-SCALE WIND POWER GRID-INTEGRATION REACTIVE VOLTAGE OPTIMIZATION METHOD BASED ON IMPROVED ARTIFICIAL FISH SWARM HYBRID OPTIMIZATION ALGORITHM

(54) **发明名称** : 基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法

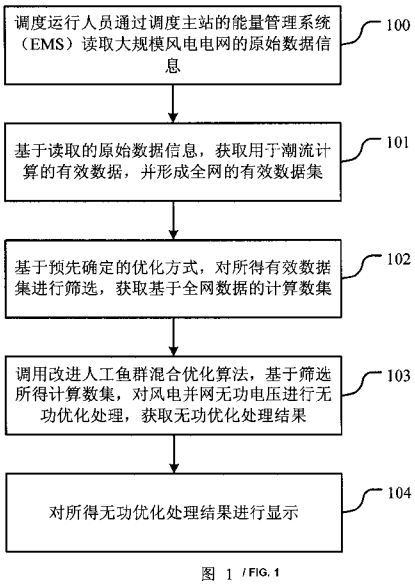


图 1 / FIG. 1

100 An operation scheduling personnel reads original data information of the large-scale wind power grid by scheduling an energy management system (EMS) of a main base
101 Obtain, based on the read original data information, valid data for load flow calculation, and form a valid data set of the whole grid
102 Screen the obtained valid data set based on a predetermined optimization manner, and obtain a calculation number set based on data of the whole grid
103 Invoke an improved artificial fish swarm hybrid optimization algorithm, perform, based on the calculation number set obtained through screening, reactive voltage optimization processing on wind power grid-integration reactive voltage to obtain a reactive optimization processing result
104 Display the obtained reactive processing result

(57) **Abstract**: Disclosed is a large-scale wind power grid-integration reactive voltage optimization method based on an improved artificial fish swarm hybrid optimization algorithm, comprising: scheduling an automation management and control system of a selected large-scale wind power base, and reading, based on an energy management system in the automation management and control system, original data information of the power grid; obtaining, based on the obtained original data information, valid data for load flow calculation, and form a valid data set of the whole grid; screening the obtained valid data based on a predetermined optimization manner, to obtain a calculation number set based on data of the whole grid; and invoking an improved artificial fish swarm hybrid optimization algorithm, and performing, based on the calculation number set obtained through screening, reactive optimization processing on the wind power grid-integration reactive voltage to obtain a reactive optimization processing result. The method of the present invention can overcome defects of a large amount of data processing, poor convergence and inferior stability, so as to achieve advantages of a small amount of data processing, good convergence and stability.

(57) **摘要**:

[见续页]

WO 2013/174145 A1

(74) **代理人**: **北京中恒高博知识产权代理有限公司 (BEIJING CHINAGOUB INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.)**; 中国北京市朝阳区东土城路8号林达大厦A座23层A室, Beijing 100013 (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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

本发明公开了基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，包括：调度选定大规模风电基地的自动化管控系统，基于自动化管控系统中的能量管理系统，读取电网的原始数据信息；基于所得原始数据信息，获取用于潮流计算的有效数据，形成全网的有效数据集；基于预先确定的优化方式，对所得有效数据集进行筛选，获取基于全网数据的计算数集；调用改进人工鱼群混合优化算法，基于筛选所得计算数集，对风电并网无功电压进行无功优化处理，获取无功优化处理结果。本发明所述方法，可以克服现有技术中数据处理量大、收敛性差与稳定性不好等缺陷，以实现数据处理量小、收敛性好与稳定性好的优点。

基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法

技术领域

本发明涉及跨区域电网管理控制技术领域，具体地，涉及基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法。

背景技术

随着我国智能电网大规模集中式新能源发电基地建设并开始并网发电，其对电力系统的安全稳定运造成的影响日益增大。大规模新能源发电的接入对电网不仅带来了巨大冲击，使得网络结构、运行方式和安全稳定特性复杂多变，而且导致电网的稳定问题和电压问题日益突出，同时由于新能源发电本身具有的波动性、间歇性和随机性等特点对电力系统的电压稳定也提出了巨大的考验。因此随着新能源发电的大规模开发并集中接入电网，其出力的频繁波动将急剧恶化局部地区的电压、无功状况，即其间歇性和随机性将造成电网电压频繁波动。如果其在系统的薄弱点接入，甚至可能降低整个系统的稳定水平并严重加大故障的波及范围。

因此，必须结合风电自身的特点，研究并提出适应于大规模风电接入的互联电网无功分配与控制方法，以改进传统的无功分配模式和控制手段。一方面，需要提高风电机组、风电场自身的调节能力，并以适当的方式参与区域电网的无功电压控制与调节；另一方面，需要从整个区域互联电网的角度出发，充分利用全网的可调节资源，实现大规模风电在电网内的合理消纳无功，以确保系统的稳定。因此，研究一种合理、简单又易于执行并且适合于大规模新能源并网外送方式下得无功电压优化的方法，将对提高电网的稳定水平、提高互联电网消纳大规模风电能力的发挥和有效发挥配置资源等，具有十分重要的意义。

目前，传统的无功优化控制方法主要包括线性规划法、非线性规划法、混合整数规划法、遗传算法、灵敏度分析法和二次型法等。但是，这些方法都或多或少地存在计算量大、收敛性差、稳定性不好和容易陷入局部最优解而提早收敛的问题。尤其是纯粹地使用非线性规划法和线性规划法时，会存在“维数灾”的问题，不太可能处理较为复杂，波动性较大的大系统。因此针对新能源本身的波动性、间歇性和随机性等特点对电压无功优化的初值影响较大，这可能带了的一系列问题，因此选择稳而定有效的计算方法，进行无功优化计算，保证电力系统的稳定性显得尤为重要。

在实现本发明的过程中，发明人发现现有技术中至少存在数据处理量大、收敛性差与稳定性不好等缺陷。

发明内容

本发明的目的在于，针对上述问题，提出基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，以实现数据处理量小、收敛性好与稳定性好的优点。

为实现上述目的，本发明采用的技术方案是：基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，包括：

a、调度选定大规模风电基地的自动化管控系统，基于自动化管控系统中的能量管理系统，读取电网的原始数据信息；

所述原始数据信息，至少包括用作电网静态分析数据的电网静态参数与约束条件、以及用作反映电网实时运行状态计算数据的电网实时数据；

b、基于步骤 a 读取的原始数据信息，获取用于潮流计算的有效数据，并形成全网的有效数据集；

c、基于预先确定的优化方式，对步骤 b 所得有效数据集进行筛选，获取基于全网数据的计算数集；

d、调用改进人工鱼群混合优化算法，基于步骤 c 筛选所得计算数集，对风电并网无功电压进行无功优化处理，获取无功优化处理结果。

进一步地，在步骤 d 之后，还包括对步骤 d 所得无功优化处理结果进行显示的操作。

进一步地，在步骤 b 中，所述获取用于潮流计算的有效数据的操作，具体包括：

根据所述原始数据信息中带电标识及电网拓扑的信息，提取用于参与全网潮流计算的数据集合，即用于进行全网潮流计算的有效数据集；

所述数据集合，至少包括发电机、线路、变压器、并联补偿装置与负荷中任意多种。

进一步地，在步骤 c 中，所述预先确定的优化方式，至少包括常规风电并网的无功优化方式与大规模风电并网的无功优化方式。

进一步地，在步骤 c 中，对步骤 b 所得有效数据集进行筛选的操作，具体包括：

当所述预先确定的优化方式为常规风电并网的无功优化方式时，提取有效数据集中电压大、且节点无功波动频繁的节点数据，并最终形成用于无功优化处理的计算数集；

当所述预先确定的优化方式为大规模风电并网的无功优化方式时，提取有效数据集中电压大、且节点无功波动频繁的节点数据，并最终形成用于无功优化处理的计算数集。

进一步地，在步骤 d 中，所述对风电并网无功电压进行无功优化处理的操作，具体包括：

建立至少包含风电间歇性和随机性因素的无功电压优化控制模型；

基于该无功电压优化控制模型，利用遗传算法在原始数据信息的初始数据中形成用于进行全网潮流计算的有效数据集后，在所述有效数据集的待优化区域中，设立用于记录最优人工鱼个体状态的公告板；

每条人工鱼在行动一次后，将表示自身当前状态的函数值与公告板进行比较，当表示自身当前状态的函数值优于公告板时，则用自身当前状态取代公告板，并将所述待优化区域的公告板从整个电网中划分出来，形成对风电并网无功电压无功优化的最终计算数据。

进一步地，所述建立至少包含风电间歇性和随机性因素的无功电压优化控制模型的操作，具体包括：

建立改进人工鱼群混合优化算法的目标函数：

$$f(x)=\min(P_{Loss}+\sum_{i=1}^{n}(\frac{\Delta V_i}{V_M})^2+\sum_{i=1}^{n}(\frac{\Delta Q_i}{Q_M})^2)$$

；

上述目标函数的等式约束条件为：

$$P_i=V_i\sum_{j=1}^{N}V_j(G_{ij}\cos\delta_{ij}+B_{ij}\sin\delta_{ij})$$

；

$$Q_i=V_i\sum_{j=1}^{N}V_j(G_{ij}\sin\delta_{ij}-B_{ij}\cos\delta_{ij})$$

；

上述目标函数的不等式约束中控制变量约束条件为：

$$\begin{cases} T_{i\min} \le T_i \le T_{i\max} \\ Q_{ci\min} \le Q_{ci} \le Q_{ci\max} \\ V_{Gimi} \le V_{Gi} \le V_{Gi\max} \\ V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max} \\ Q_{Gi\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi\max} \end{cases};$$

$$P_{LOSS} = \sum_{i=1}^{N} V_i \sum_{j=1}^{N} V_j (G_{ij} \cos\delta_{ij} + B_{ij} \sin\delta_{ij});$$

$$\Delta V_i = \begin{cases} V_i - V_{i\max} & (V_i > V_{i\max}) \\ 0 & (V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max}) \\ V_{i\min} - V_i & (V_i > V_{i\min}) \end{cases};$$

$$\Delta Q_i = \begin{cases} Q_i - Q_{i\max} & (Q_i > Q_{i\max}) \\ 0 & (Q_{i\min} \le Q_i \le Q_{i\max}) \\ Q_{i\min} - Q_i & (Q_i > Q_{i\min}) \end{cases};$$

$$V_M = V_{i\max} - V_{i\min};$$

$$Q_M = Q_{i\max} - Q_{i\min};$$

其中，V_i 为线路首端节点 i 的电压幅值，V_j 为线路末端节点 j 的电压幅值，δ_{ij} 为线路首末端节点 i 、j 的电压相角差，T_i 为可调变压器分接头的位置，Q_{ci} 为容性无功补偿容量，V_{Gi} 为发电机机端电压，Q_{Gi} 为发电机的无功出力，P_{LOSS} 电网的有功损耗，G_{ij} 是线路 (i,j) 的电导，B_{ij} 是线路 (i,j) 的电纳，N 是系

统的节点数，P_i 是节点注入的有功功率，Q_i 是节点注入的无功功率，$T_{i\max}$ 是变压器分接头的最高档位，$T_{i\min}$ 是变压器分接头最低档位，$Q_{ci\max}$ 和 $Q_{ci\min}$ 分别是节点无功补偿量的上限和下限，$V_{Gi\min}$ 和 $V_{Gi\max}$ 分别是发电机机端电压的上和下限，$V_{i\min}$ 和 $V_{i\max}$ 分别是节点电压的上限和下限，$Q_{Gi\min}$ 和 $Q_{Gi\max}$ 分别是发电机无功出力的上限和下限。

本发明各实施例的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，由于包括：调度选定大规模风电基地的自动化管控系统，基于自动化管控系统中的能量管理系统，读取电网的原始数据信息；基于所得原始数据信息，获取用于潮流计算的有效数据，形成全网的有效数据集；基于预先确定的优化方式，对所得有效数据集进行筛选，获取基于全网数据的计算数集；调用改进人工鱼群混合优化算法，基于筛选所得计算数集，对风电并网无功电压进行无功优化处理，获取无功优化处理结果；这样，通过考虑大规模风电接入带来的其间歇性和随机性将造成电网电压频繁波动，可能引起无功潮流的不合理甚至引发大范围的故障，进而建立模型进行控制区域内电压和无功频繁波动的节点，从而大大提高系统的稳定水平；另外，选用改进人工鱼群混合优化算法可有效避免计算陷入局部最优解而提早收敛的和无功优化时对初值的选择有一定的依赖性问题，适合在线应用；从而可以克服现有技术中数据处理量大、收敛性差与稳定性不好的缺陷，以实现数据处理量小、收敛性好与稳定性好的优点。

本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述，并且，部分地从说明书中变得显而易见，或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

下面通过附图和实施例，对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

附图用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与本发明的实施例一起用于解释本发明，并不构成对本发明的限制。在附图中：

图 1 为本发明基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法的流程示意图；

图 2 为改进人工鱼群混合优化算法的流程示意图；

图 3 为改进人工鱼群混合优化算法中遗传算子交叉流程示意图；

图 4a-图 4d 为改进人工鱼群混合优化算法中遗传算子交叉过程示例图；

图 5 为 IEEE30 节点系统电网的网络布局示意图。

具体实施方式

以下结合附图对本发明的优选实施例进行说明，应当理解，此处所描述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。

根据本发明实施例，如图 1-图 5 所示，提供了基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法。

如图 1 所示，本实施例的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，包括：

步骤 100：调度选定大规模风电基地的自动化管控系统，基于自动化管控系统中的能量管理系统，读取电网的原始数据信息；

在步骤 100 中，原始数据信息，至少包括用作电网静态分析数据的电网静态参数与约束条件、以及用作反映电网实时运行状态计算数据的电网实时数据；

步骤 101：基于步骤 100 读取的原始数据信息，获取用于潮流计算的有效数据，并形成全网的有效数据集；

在步骤 101 中，获取用于潮流计算的有效数据的操作，具体包括：

根据步骤 100 所得原始数据信息中带电标识及电网拓扑的信息，提取用于参与全网潮流计算的数据集合，即用于进行全网潮流计算的有效数据集；该数据集合，至少包括发电机、线路、变压器、并联补偿装置与负荷中任意多种；

步骤 102：基于预先确定的优化方式，对步骤 101 所得有效数据集进行筛选，获取基于全网数据的计算数集；

在步骤 102 中，预先确定的优化方式，至少包括常规风电并网的无功优化方式与大规模风电并网的无功优化方式；

当预先确定的优化方式为常规风电并网的无功优化方式时，提取有效数据集中电压大、且节点无功波动频繁的节点数据，并最终形成用于无功优化处理的计算数集；

当预先确定的优化方式为大规模风电并网的无功优化方式时，提取有效数据集中电压大、且节点无功波动频繁的节点数据，并最终形成用于无功优化处理的计算数集；

步骤 103：调用改进人工鱼群混合优化算法，基于步骤 102 筛选所得计算数集，

对风电并网无功电压进行无功优化处理，获取无功优化处理结果；

在步骤 103 中，对风电并网无功电压进行无功优化处理的操作，具体包括：

建立至少包含风电间歇性和随机性因素的无功电压优化控制模型；

基于该无功电压优化控制模型，利用遗传算法在原始数据信息的初始数据中形成用于进行全网潮流计算的有效数据集后，在所述有效数据集的待优化区域中，设立用于记录最优人工鱼个体状态的公告板；

每条人工鱼在行动一次后，将表示自身当前状态的函数值与公告板进行比较，当表示自身当前状态的函数值优于公告板时，则用自身当前状态取代公告板，并将所述待优化区域的公告板从整个电网中划分出来，形成对风电并网无功电压无功优化的最终计算数据；

上述建立至少包含风电间歇性和随机性因素的无功电压优化控制模型的操作，具体包括：

建立改进人工鱼群混合优化算法的目标函数：

$$f(x)=\min(P_{Loss}+\sum_{i=1}^{n}(\frac{\Delta V_i}{V_M})^2+\sum_{i=1}^{n}(\frac{\Delta Q_i}{Q_M})^2)$$

；

上述目标函数的等式约束条件为：

$$P_i=V_i\sum_{j=1}^{N}V_j(G_{ij}\cos\delta_{ij}+B_{ij}\sin\delta_{ij})$$

；

$$Q_i=V_i\sum_{j=1}^{N}V_j(G_{ij}\sin\delta_{ij}-B_{ij}\cos\delta_{ij})$$

；

上述目标函数的不等式约束中控制变量约束条件为：

$$\begin{cases} T_{i\min} \le T_i \le T_{i\max} \\ Q_{ci\min} \le Q_{ci} \le Q_{ci\max} \\ V_{Gimi} \le V_{Gi} \le V_{Gi\max} \\ V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max} \\ Q_{Gi\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi\max} \end{cases};$$

$$P_{LOSS} = \sum_{i=1}^{N} V_i \sum_{j=1}^{N} V_j (G_{ij} \cos\delta_{ij} + B_{ij} \sin\delta_{ij});$$

$$\Delta V_i = \begin{cases} V_i - V_{i\max} & (V_i > V_{i\max}) \\ 0 & (V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max}) \\ V_{i\min} - V_i & (V_i > V_{i\min}) \end{cases};$$

$$\Delta Q_i = \begin{cases} Q_i - Q_{i\max} & (Q_i > Q_{i\max}) \\ 0 & (Q_{i\min} \le Q_i \le Q_{i\max}) \\ Q_{i\min} - Q_i & (Q_i > Q_{i\min}) \end{cases};$$

$$V_M = V_{i\max} - V_{i\min};$$

$$Q_M = Q_{i\max} - Q_{i\min};$$

其中，V_i 为线路首端节点 i 的电压幅值，V_j 为线路末端节点 j 的电压幅值，δ_{ij} 为线路首末端节点 i、j 的电压相角差，T_i 为可调变压器分接头的位置，Q_{ci} 为容性无功补偿容量，V_{Gi} 为发电机机端电压，Q_{Gi} 为发电机的无功出力，P_{LOSS} 电网的有功损耗，G_{ij} 是线路 (i,j) 的电导，B_{ij} 是线路 (i,j) 的电纳，N 是系

统的节点数，P_i 是节点注入的有功功率，Q_i 是节点注入的无功功率，$T_{i\max}$ 是变压器分接头的最高档位，$T_{i\min}$ 是变压器分接头最低档位，$Q_{ci\max}$ 和 $Q_{ci\min}$ 分别是节点无功补偿量的上限和下限，$V_{Gi\min}$ 和 $V_{Gi\max}$ 分别是发电机机端电压的上和下限，$V_{i\min}$ 和 $V_{i\max}$ 分别是节点电压的上限和下限，$Q_{Gi\min}$ 和 $Q_{Gi\max}$ 分别是发电机无功出力的上限和下限；

步骤 104：对步骤 103 所得无功优化处理结果进行显示。

例如，以 IEEE30 节点的计算为例，对上述实施例基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法的操作过程进行举例说明。以 IEEE30 节点的计算为例，上述基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，主要包括：

步骤 1：读入原始数据信息。数据信息包括电网静态参数、约束条件和实时数据；其中，电网静态参数和约束条件是能量管理系统所提供的用于电网静态分析的数据，电网实时数据是由能量管理系统输出的反映电网实时运行状态的计算数据；

步骤 2：获取用于潮流计算的有效数据，根据数据信息中的带电标识及电网拓扑信息，提取全网能够参与计算的数据集合；主要包括发电机、线路、变压器、并联补偿装置和负荷的数据；

步骤 3：可以按照遗传算法中的遗传变异来选择最优初种群，然后利用改进遗传的交叉变异方法（具体遗传算子交叉流程参见图 3）进行筛选相应的初始数据，筛选方法如下：

⑴在初始的种群的数据进行相应的拆分，如示例中将初始种群 A 分为一列 a 和剩余子群 M，然后数列 a 向上滑行或者子群 M 向下滑行，每滑行一格后组成新的子群（具体示例流程参见图 4a-图 4d）；

⑵将新生成的子群带入无功优化模型进行计算，进行比较公告板上的最优数据，进而逐渐淘汰新生成的欠优种群；

⑶根据公告板上的最优数据，最终得出最优的种群，同时将其带入到无功优化算法进行无功优化计算；

步骤 4：对上述经过遗传变异筛选出来的数据调用改进人工鱼群混合优化算法的无功优化方法进行计算，具体计算过程参见图 2 所示流程进行，主要过程包括：

本模型（即无功电压优化控制模型）的目标函数为含网损和节点电压及其无功的越限程度的因子最小，其中网损由潮流计算直接求得，潮流计算采用 PQ 分解法，以节约计算时间；

潮流计算中实现了稀疏存储，半动态节点编号，并具备 PV 节点向 PQ 节点转化的功能，对系统的规模没有限制；其中，无功优化中的等约束条件由潮流计算自动满足；在套用改进人工鱼群混合优化时，控制变量的上下限在遗传算法中对应其编码的上下限，因而控制变量的不等式约束自动满足；

将控制变量的不等式以罚函数的形式增广到目标函数中，罚因子的大小可根据需要进行调整；同时，在控制变量的约束的范围之内，该模型的目标函数中也充分考虑了风电出力的波动性可能造成节点电压的波动过大；

因为早期实际的运行风电机组主要采用异步发电机，其不具备维持和调节机端电压水平的能力；如果在运行中出现发电机的机端的电压波动过大，有可能造成机组脱网的事故；因此在该模型的计算中考虑该目标因子，使进行无功的优化后，电压在该波动节点的波动降低最小，进而提高系统的稳定性；

同时，针对当前双馈式异步风力发电机组和永磁直驱风力发电机组逐渐转变为是风电厂主流的机型这一现状，充分考虑双馈式异步风力发电机组具备通过控制实现有功/无功的解耦，具备一定的动态调节无功输出的能力；而永磁直驱风力发电机组由于通过全容量与电网连接，则能够灵活地对无功进行控制等特性；

因此在建模时应该考虑不应使得电网中的无功注入这些节点过大，因为该节点的机组本身能够维持机组其电压稳定，这样再次注入大量无功造成的无功波动太大，进而造成电网其它地方无功短缺，这样非但没有提高各个节点的电压质量，反而有可能会使之更加恶化，进而引发大面积的机组脱网；

基于以上因素，该模型（即无功电压优化控制模型）可进一步提高风电并网无功优化分配的合理性。

步骤 5：结果显示，按照计算结果提供优化前后系统统计信息对照表，参见下表 1。

上述步骤 1-步骤 5 为以 IEEE30 节点的计算为例进行基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法的主要操作，实现该方法的其它操作可

参见上述步骤 100-步骤 104 中的相应操作，在此不再赘述。

表 1：优化前后结果对比

	投入电容（MVar）	有功网损（MW）	电压越限节点数目
优化前	0.045	0.073	2
优化后	0.3	0.068	0

从表 1 中优化前后的信息统计结果不难看出，优化后在能够在降低网损的前提下，使电压越限的节点数由 2 降为 0，优化效果较为明显，也证明了按照改进人工鱼群无功优化方法确实是一种有效的方法。

上述实施例的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，主要包括以下几个步骤：读入数据信息；所述数据信息包括电网静态参数、约束条件和电网实时数据；从读入数据信息中获取用于潮流计算的有效数据；确定优化方式并根据优化方式对有效数据进行筛选；采用基于改进的人工鱼群算法进行无功优化计算的方法，并获得无功优化的结果；通过按照节点的类型进行数据的提取，有效地控制了区域内节点的数量，从而大大缩短了计算时间；另外，选用改进的人工鱼群算法可以有效避免陷入局部最优解而提早收敛的问题；该方法在电网安全预警系统中的应用，可以解决现有大规模风电并入系统中的无功优化方法存在的问题。

上述实施例的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，通过考虑大规模风电接入带来的其间歇性和随机性将造成电网电压频繁波动，可能引起无功潮流的不合理甚至引发大范围的故障，进而建立模型进行控制区域内电压和无功频繁波动的节点，从而大大提高系统的稳定水平；另外，选用改进人工鱼群混合优化算法可有效避免计算陷入局部最优解而提早收敛的和无功优化时对初值的选择有一定的依赖性问题，适合在线应用。

上述实施例的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，是为在线考虑大规模风电接入带来的其间歇性和随机性将造成电网电压频繁波动而进行电网无功优化的一种有效手段；该方法是在保证网损最小的前提下，以电压频繁波动点电压波动最小为目标函数，而进行电网无功分布的一种技术手段。与传统的无功优化的方法相比，该方法基于电网实时数据，根据风电的随机性进进而来确定电网的无功分布，从而有效地提高电网的稳定性，基于改进人工鱼群

的大规模风电并网无功电压优化方法具有以下特点：

⑴局部性，针对电网中电压波动较为频繁的节点，进行寻找其最有值，而非对全网的优化；

⑵快速性，采用了稀疏矢量法及多种提高计算速度的手段，能够快速计算分析并给出最终的调整方案；

⑶准确性，采用了人工鱼群算法中的聚群和追尾原则，该方法已在电网预警系统中进行应用且能够准确反映系统的实际情况，所得结果准确可信。

最后应说明的是：以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，对于本领域的技术人员来说，其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1．基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，包括：

a、调度运行人员通过调度主站的能量管理系统（EMS），读取大规模风电的原始数据信息；所述原始数据信息，至少包括用作电网静态分析数据的电网静态参数与约束条件、以及用作反映电网实时运行状态计算数据的电网实时数据；

b、基于步骤 a 读取的原始数据信息，获取用于潮流计算的有效数据，并形成全网的有效数据集；

c、基于预先确定的优化方式，对步骤 b 所得有效数据集进行筛选，获取基于全网数据的计算数集；

d、调用改进人工鱼群混合优化算法，基于步骤 c 筛选所得计算数集，对风电并网无功电压进行无功优化处理，获取无功优化处理结果。

2．根据权利要求 1 所述的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，在步骤 d 之后，还包括对步骤 d 所得无功优化处理结果进行显示的操作。

3．根据权利要求 1 或 2 所述的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，在步骤 b 中，所述获取用于潮流计算的有效数据的操作，具体包括：

根据所述原始数据信息中带电标识及电网拓扑的信息，提取用于参与全网潮流计算的数据集合，即用于进行全网潮流计算的有效数据集；

所述数据集合，至少包括发电机、线路、变压器、并联补偿装置与负荷中任意多种。

4．根据权利要求 1 或 2 所述的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，在步骤 c 中，所述预先确定的优化方式，至少包括常规风电并网的无功优化方式与大规模风电并网的无功优化方式。

5．根据权利要求 4 所述的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，在步骤 c 中，对步骤 b 所得有效数据集进行筛选的操作，具体包括：

当所述预先确定的优化方式为常规风电并网的无功优化方式时，提取有效数据集中电压大、且节点无功波动频繁的节点数据，并最终形成用于无功优化处理的计算数

集；

当所述预先确定的优化方式为大规模风电并网的无功优化方式时，提取有效数据集中电压大、且节点无功波动频繁的节点数据，并最终形成用于无功优化处理的计算数集。

6．根据权利要求 1 或 2 所述的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，在步骤 d 中，所述对风电并网无功电压进行无功优化处理的操作，具体包括：

建立至少包含风电间歇性和随机性因素的无功电压优化控制模型；

基于该无功电压优化控制模型，利用遗传算法在原始数据信息的初始数据中形成用于进行全网潮流计算的有效数据集后，在所述有效数据集的待优化区域中，设立用于记录最优人工鱼个体状态的公告板；

每条人工鱼在行动一次后，将表示自身当前状态的函数值与公告板进行比较，当表示自身当前状态的函数值优于公告板时，则用自身当前状态取代公告板，并将所述待优化区域的公告板从整个电网中划分出来，形成对风电并网无功电压无功优化的最终计算数据。

7．根据权利要求 6 所述的基于改进人工鱼群混合优化算法的大规模风电并网无功电压优化方法，其特征在于，主要叙述建立包含风电间歇性和随机性因素的无功电压优化控制模型的操作，具体包括：

建立改进人工鱼群混合优化算法的目标函数：

$$f(x)=\min(P_{Loss}+\sum_{i=1}^{n}(\frac{\Delta V_i}{V_M})^2+\sum_{i=1}^{n}(\frac{\Delta Q_i}{Q_M})^2)$$

；

上述目标函数的等式约束条件为：

$$P_i=V_i\sum_{j=1}^{N}V_j(G_{ij}\cos\delta_{ij}+B_{ij}\sin\delta_{ij})$$

；

$$Q_i=V_i\sum_{j=1}^{N}V_j(G_{ij}\sin\delta_{ij}-B_{ij}\cos\delta_{ij})$$

；

上述目标函数的不等式约束中控制变量约束条件为：

$$\begin{cases} T_{i\min} \le T_i \le T_{i\max} \\ Q_{ci\min} \le Q_{ci} \le Q_{ci\max} \\ V_{Gimi} \le V_{Gi} \le V_{Gi\max} \\ V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max} \\ Q_{Gi\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi\max} \end{cases};$$

$$P_{LOSS} = \sum_{i=1}^{N} V_i \sum_{j=1}^{N} V_j (G_{ij} \cos\delta_{ij} + B_{ij} \sin\delta_{ij});$$

$$\Delta V_i = \begin{cases} V_i - V_{i\max} & (V_i > V_{i\max}) \\ 0 & (V_{i\min} \le V_i \le V_{i\max}) \\ V_{i\min} - V_i & (V_i > V_{i\min}) \end{cases};$$

$$\Delta Q_i = \begin{cases} Q_i - Q_{i\max} & (Q_i > Q_{i\max}) \\ 0 & (Q_{i\min} \le Q_i \le Q_{i\max}) \\ Q_{i\min} - Q_i & (Q_i > Q_{i\min}) \end{cases};$$

$$V_M = V_{i\max} - V_{i\min};$$

$$Q_M = Q_{i\max} - Q_{i\min};$$

其中，V_i 为线路首端节点 i 的电压幅值，V_j 为线路末端节点 j 的电压幅值，δ_{ij} 为线路首末端节点 i、j 的电压相角差，T_i 为可调变压器分接头的位置，Q_{ci} 为容性无功补偿容量，V_{Gi} 为发电机机端电压，Q_{Gi} 为发电机的无功出力，P_{LOSS} 电网的有功损耗，G_{ij} 是线路 (i,j) 的电导，B_{ij} 是线路 (i,j) 的电纳，N 是系统的节点数，P_i 是节点注入的有功功率，Q_i 是节点注入的无功功率，$T_{i\max}$ 是变压器分

接头的最高档位，$T_{i\min}$ 是变压器分接头最低档位，$Q_{ci\max}$ 和 $Q_{ci\min}$ 分别是节点无功补偿量的上限和下限，$V_{Gi\min}$ 和 $V_{Gi\max}$ 分别是发电机机端电压的上和下限，$V_{i\min}$ 和 $V_{i\max}$ 分别是节点电压的上限和下限，$Q_{Gi\min}$ 和 $Q_{Gi\max}$ 分别是发电机无功出力的上限和下限。

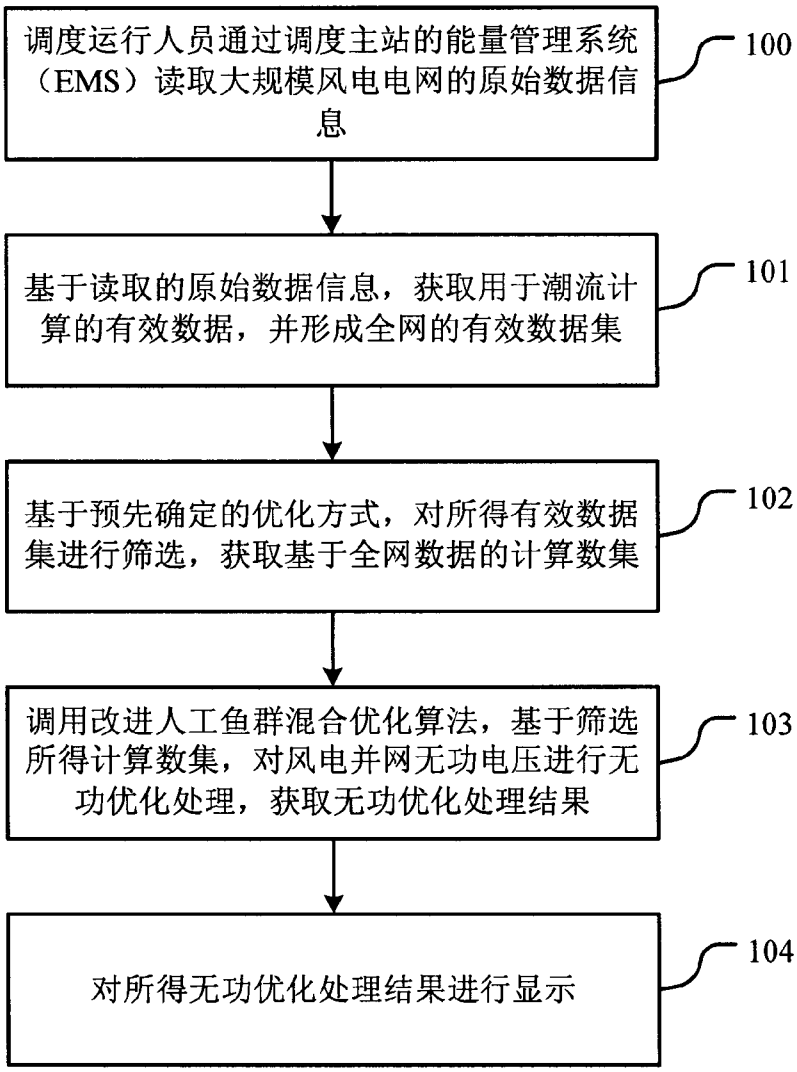

调度运行人员通过调度主站的能量管理系统（EMS）读取大规模风电电网的原始数据信息
100
基于读取的原始数据信息，获取用于潮流计算的有效数据，并形成全网的有效数据集
101
基于预先确定的优化方式，对所得有效数据集进行筛选，获取基于全网数据的计算数集
102
调用改进人工鱼群混合优化算法，基于筛选所得计算数集，对风电并网无功电压进行无功优化处理，获取无功优化处理结果
103
对所得无功优化处理结果进行显示
104

图 1

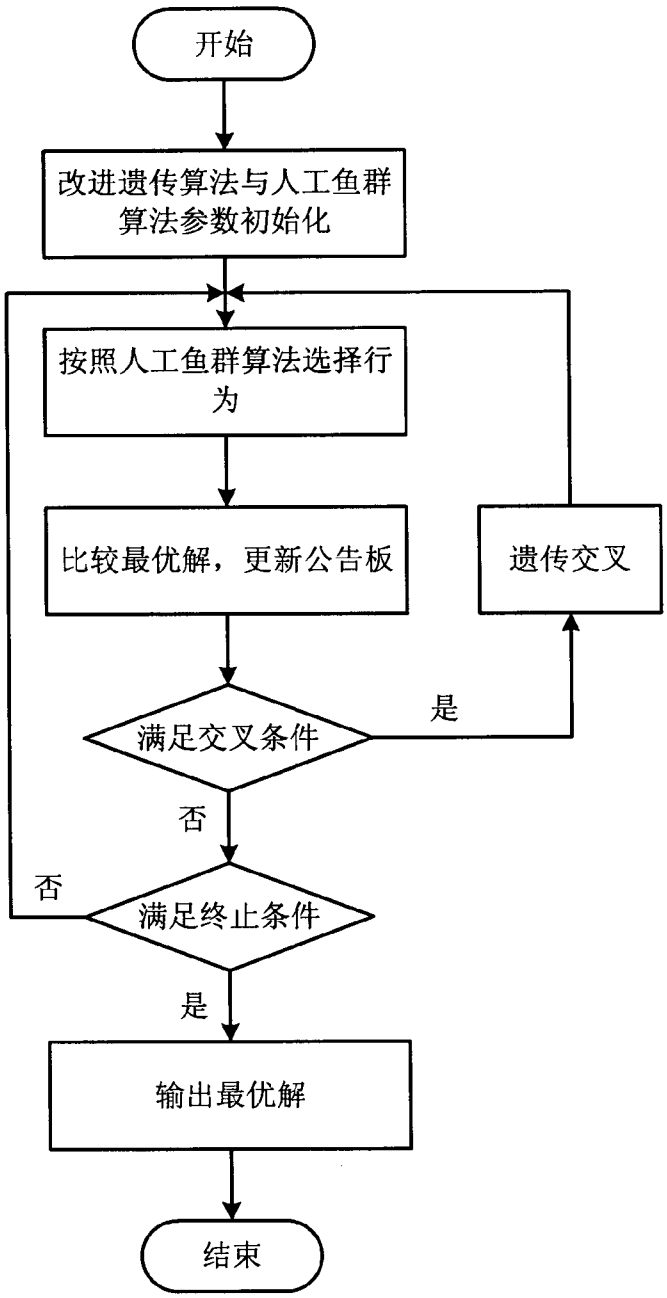

开始
改进遗传算法与人工鱼群算法参数初始化
按照人工鱼群算法选择行为
比较最优解，更新公告板
遗传交叉
满足交叉条件
是
否
否
满足终止条件
是
输出最优解
结束

图 2

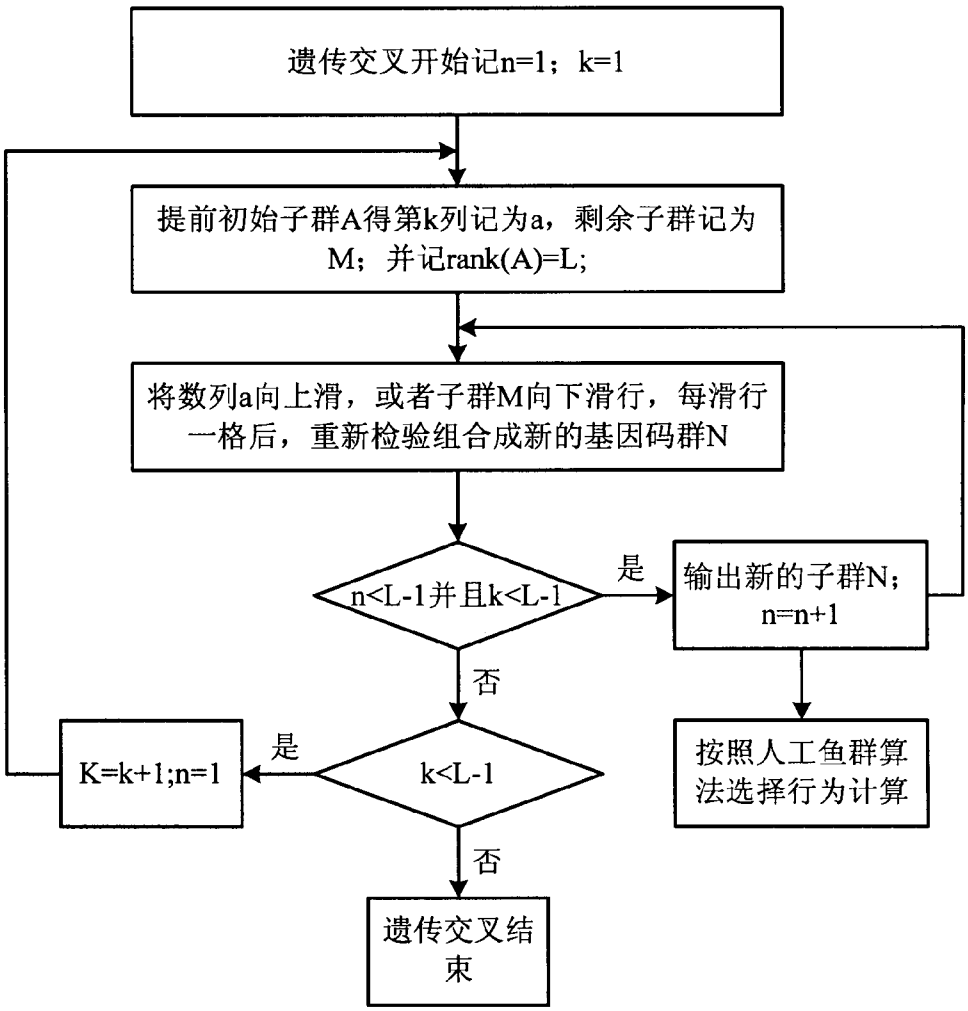


图 3

2	1	2	3	……
6	3	2	4	……
9	1	5	5	……
5	2	3	3	……
7	4	3	4	……

图 4a

2
6
9
5
7

图 4b

1	2	3	……
3	2	4	……
1	5	5	……
2	3	3	……
4	3	4	……

图 4c

7	1	2	3	……
2	3	2	4	……
6	1	5	5	……
9	2	3	3	……
5	4	3	4	……

图 4d

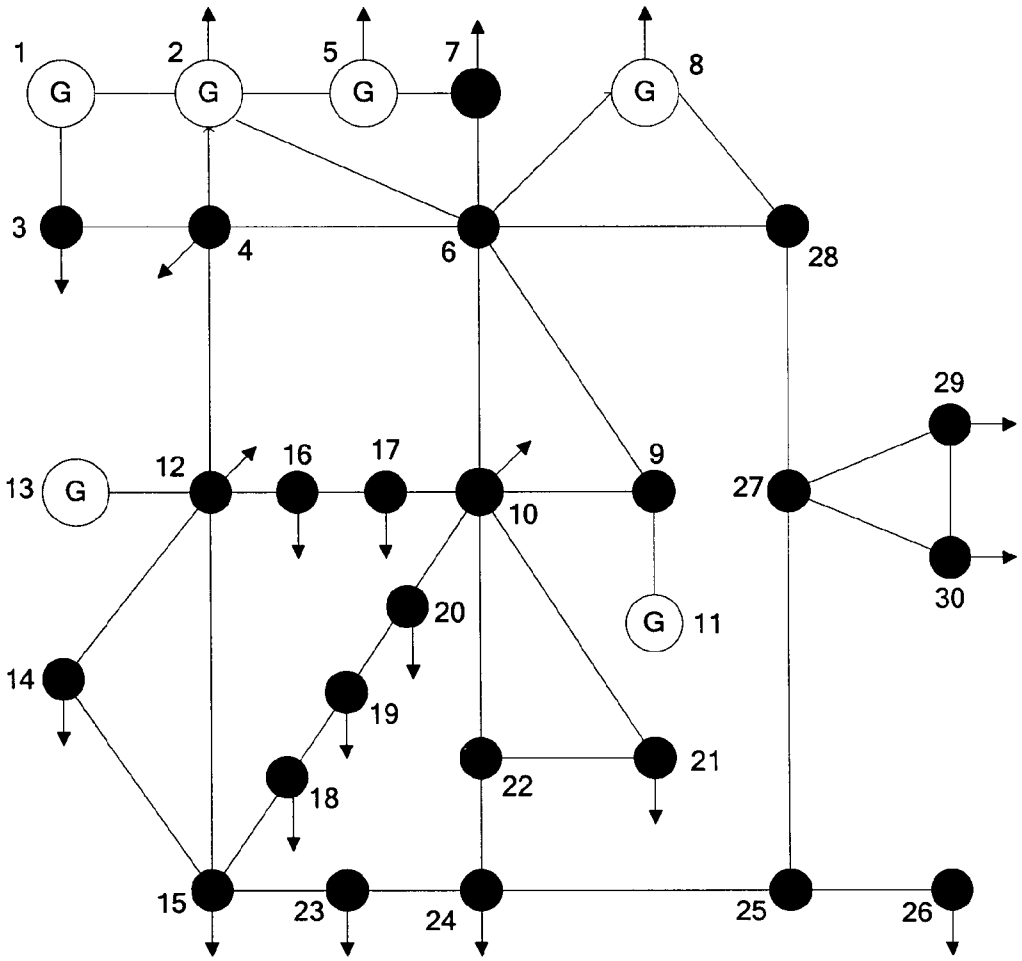


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/000578

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

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, G06F

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)

DWPI; CPRSABS; IEEE; CNKI: artificial fish, wind, power grid, idle work, artificial, fish, shoal, swarm, electric, power, grid, voltage, optimize

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 102684207 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF GANSU ELECTRIC POWER CORP. et al.), 19 September 2012 (19.09.2012), see description, paragraphs [0006]-[0014], and figures 1-5	1-7
Y	CN 102420432 A (JOURNAL OF NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY et al.), 18 April 2012 (18.04.2012), see description, paragraphs [0031], [0032] and [0040], and figure 1	1-4
Y	YUAN, Yuan et al.; Distribution Network Reactive Optimation Based on Improved Artificial Fish Swarm Algorithm, JIANGSU ELECTRICAL ENGINEERING, May 2010, vol. 29, no. 3, pages 32-34, ISSN 1009-0665	1-4
A	CN 102170137 A (JOURNAL OF NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY), 31 August 2011 (31.08.2011), see the whole document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 August 2013 (04.08.2013)	**22 August 2013 (22.08.2013)**
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 **YU, Bai** Telephone No.: (86-10) **62413978**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2013/000578

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102684207 A	19.09.2012	None	
CN 102420432 A	18.04.2012	None	
CN 102170137 A	31.08.2011	None	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/000578

CONTINUATION: CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/18 (2006.01) i

H02J 3/38 (2006.01) i

H02J 13/00 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/000578

A. 主题的分类

参见附加页

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: H02J, G06F

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）)

DWPI; CPRSABS; IEEE; CNKI: 人工鱼群，风，电，电网，优化，无功，artificial, fish, shoal, swarm, electric, power, grid, voltage, optimize

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
PX	CN 102684207 A (甘肃省电力公司电力科学研究院 等) 19.9 月 2012 (19.09.2012) 参见说明书第[0006]-[0014]段、图 1-5	1-7
Y	CN 102420432 A (华北电力大学 等) 18.4 月 2012 (18.04.2012) 参见说明书第[0031], [0032], [0040]段、图 1	1-4
Y	袁远 等，基于改进的人工鱼群算法的配电网无功优化，江苏电机工程，5 月 2010，第 29 卷，第 3 期，第 32-34 页，ISSN 1009-0665	1-4
A	CN 102170137 A (华北电力大学) 31.8 月 2011 (31.08.2011) 参见全文	1-7

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
04. 8 月 2013 (04.08.2013)	**22.8 月 2013 (22.08.2013)**
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 于白 电话号码：(86-10) **62413978**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/000578

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 102684207 A	19.09.2012	无	
CN 102420432 A	18.04.2012	无	
CN 102170137 A	31.08.2011	无	

续：主题的分类

H02J 3/18 (2006.01) i

H02J 3/38 (2006.01) i

H02J 13/00 (2006.01) i