



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108539799 B

(45)授权公告日 2019.12.13

(21)申请号 201810475317.9

(22)申请日 2018.05.17

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108539799 A

(43)申请公布日 2018.09.14

(73)专利权人 长沙理工大学  
地址 410114 湖南省长沙市天心区万家丽南路2段960号

(72)发明人 姜飞 涂春鸣 王大朔 李印宜  
吴震宇 郭光

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002  
代理人 王莹 吴欢燕

(51)Int.Cl.  
H02J 3/46(2006.01)  
H02J 3/38(2006.01)

(56)对比文件

CN 104037755 A,2014.09.10,  
CN 105633950 A,2016.06.01,

罗斌.基于NSGA-II的含风电场电力系统多目标调度计划研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库(电子期刊) 工程科技II辑》.2013,第51、53页.

马瑞等.考虑风电随机模糊不确定性的电力系统多目标优化调度计划研究.《电力系统保护与控制》.2013,第151-158页.

Xiaohong Ran.The Multi-objective Optimization Dispatch of Combined Cold Heat and Power Based on the Principle of Equal Emission.《Power and Energy Society General Meeting》.2012,全文.

审查员 李坤鹏

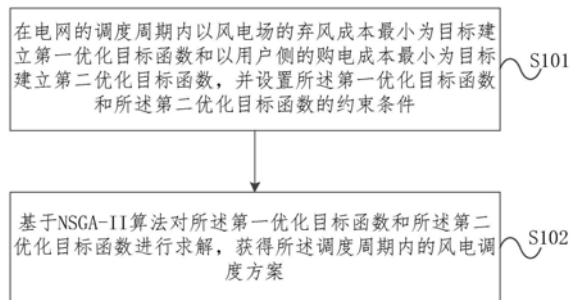
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

一种电网中风电的调度方法及装置

(57)摘要

本发明公开一种电网中风电的调度方法及装置。其中,所述方法包括:在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。所述装置用于执行上述方法。本发明提供的电网中风电的调度方法及装置,在促进电网中风电消纳的同时,降低了用电成本。



1. 一种电网中风电的调度方法,其特征在于,包括:

在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;

基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案;

其中,所述第一优化目标函数为:

$$\min F_1 = \min \left( C_{\text{cur}} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{N_w} (\Delta t P_{w_j,t} D_{w_j,t}) \right)$$

其中, $C_{\text{cur}}$ 表示弃风惩罚系数, $P_{w_j,t}$ 表示风电场j在第t时刻的可调度风电功率, $D_{w_j,t}$ 表示风电场j在第t时刻的弃风率,T表示调度周期内的时段数, $\Delta t$ 表示所述调度周期内相邻时段的时间间隔, $N_w$ 表示所述调度周期内风电场的数量,t为正整数且 $t \leq T$ ;

所述第二优化目标函数为:

$$\min F_2 = \min \left( \sum_{t=1}^T (P_{Li,t} \cdot C_{Li,t}(SP)) \right)$$

其中, $P_{Li,t}$ 表示节点i在第t时刻的用户购电电量, $C_{Li,t}(SP)$ 表示节点i在第t时刻的用户实时购电电价函数,SP表示阻塞线路的影子价格。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述约束条件包括:功率平衡约束条件、风电场的正负备用约束条件、常规机组功率调节速率约束条件、常规机组有功出力约束条件、风电发电机组有功出力约束条件、节点电压幅值约束条件、线路有功潮流约束条件、弃风率区间约束条件和阻塞线路的影子价格约束条件。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述阻塞线路的影子价格约束条件包括所述调度周期内各个时段的阻塞线路的影子价格约束条件,每个所述时段的阻塞线路的影子价格约束条件根据各自对应的风电场期望的并网出力区间获得。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案包括:

基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得满足所述约束条件的Pareto最优解集;

从Pareto最优解集中获得所述调度周期内的风电调度方案。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述从Pareto最优解集中获得所述调度周期内的风电调度方案包括:

采用偏小型满意度算法计算所述调度周期内各个阶段Pareto最优解集中每个非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值;

根据各个所述阶段每个所述非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值,获得各个所述阶段每个所述非支配解的综合满意度值;

获得每个所述阶段的所述综合满意度值最大的所述非支配解,形成所述风电调度方

案。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述根据每个所述非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值,获得每个所述非支配解的综合满意度值包括:

根据公式 $S=w_1\delta_1+w_2\delta_2$ 计算获得所述非支配解的综合满意度值,其中, $S$ 表示所述非支配解的综合满意度值, $\delta_1$ 表示所述非支配解的第一优化目标函数的函数值的满意度值, $w_1$ 表示 $\delta_1$ 对应的权重系数, $\delta_2$ 表示所述非支配解的第二优化目标函数的函数值的满意度值, $w_2$ 表示 $\delta_2$ 对应的权重系数。

7. 一种电网中风电的调度装置,其特征在于,包括:

建立单元,用于在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;

求解单元,用于基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案;

其中,所述第一优化目标函数为:

$$\min F_1 = \min \left( C_{\text{cur}} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{N_w} (\Delta t P_{w_j,t} D_{w_j,t}) \right)$$

其中, $C_{\text{cur}}$ 表示弃风惩罚系数, $P_{w_j,t}$ 表示风电场 $j$ 在第 $t$ 时刻的可调度风电功率, $D_{w_j,t}$ 表示风电场 $j$ 在第 $t$ 时刻的弃风率, $T$ 表示调度周期内的时段数, $\Delta t$ 表示所述调度周期内相邻时段的时间间隔, $N_w$ 表示所述调度周期内风电场的数量, $t$ 为正整数且 $t \leq T$ ;

所述第二优化目标函数为:

$$\min F_2 = \min \left( \sum_{t=1}^T (P_{Li,t} \cdot C_{Li,t}(SP)) \right)$$

其中, $P_{Li,t}$ 表示节点 $i$ 在第 $t$ 时刻的用户购电电量, $C_{Li,t}(SP)$ 表示节点 $i$ 在第 $t$ 时刻的用户实时购电电价函数, $SP$ 表示阻塞线路的影子价格。

8. 一种电子设备,其特征在于,包括:处理器、存储器和通信总线,其中:

所述处理器和所述存储器通过所述通信总线完成相互间的通信;

所述存储器存储有可被所述处理器执行的程序指令,所述处理器调用所述程序指令能够执行如权利要求1至6任一项所述的方法。

9. 一种非暂态计算机可读存储介质,其特征在于,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行如权利要求1至6任一项所述的方法。

## 一种电网中风电的调度方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及互联网技术领域,具体涉及一种电网中风电的调度方法及装置。

### 背景技术

[0002] 随着风电的开发利用规模越来越大,风电接入电网给电网的运行带来诸多问题。

[0003] 目前对风电的消纳是首要问题。为了促进风电的大规模消纳,常采用的办法是在经济调度函数中加入发电侧的弃风惩罚、调峰成本等或用户侧的购电成本及其他需求响应函数。由于购电电价是系统给定值,用户侧的购电成本通常采用以用户购电量作为决策变量,优化决策后的结果会调度用户负荷,但是调整用户负荷,有影响社会正常生产活动的风险,且不利于大规模的风电消纳。

[0004] 因此,如何提出一种风电的调度方法,能够对电网中的大规模风电进行消纳,以降低用电成本成为业界亟待解决的重要课题。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明提供一种电网中风电的调度方法及装置。

[0006] 一方面,本发明提出一种电网中风电的调度方法包括:

[0007] 在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;

[0008] 基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0009] 另一方面,本发明提供一种电网中风电的调度装置,包括:

[0010] 建立单元,用于在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;

[0011] 求解单元,用于基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0012] 再一方面,本发明提供一种电子设备,包括:处理器、存储器和通信总线,其中:

[0013] 所述处理器和所述存储器通过所述通信总线完成相互间的通信;

[0014] 所述存储器存储有可被所述处理器执行的程序指令,所述处理器调用所述程序指令能够执行如上述各实施例提供的电网中风电的调度方法。

[0015] 又一方面,本发明提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行如上述各实施例提供的电网中风电的调度方法。

[0016] 本发明提供的电网中风电的调度方法及装置,由于能够在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建

立第二优化目标函数,并设置第一优化目标函数和第二优化目标函数的约束条件,然后基于NSGA-II算法对第一优化目标函数和第二优化目标函数进行求解,获得调度周期内的风电调度方案,在促进电网中风电消纳的同时,降低了用电成本。

### 附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图1为本发明一实施例电网中风电的调度方法的流程示意图;

[0019] 图2为本发明另一实施例电网中风电的调度方法的流程示意图;

[0020] 图3为本发明一实施例NSGA-II算法的求解流程图;

[0021] 图4为本发明又一实施例电网中风电的调度方法的流程示意图;

[0022] 图5为本发明一实施例电网中风电的调度装置的结构示意图;

[0023] 图6为本发明一实施例电子设备的实体结构示意图。

### 具体实施方式

[0024] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0025] 图1为本发明一实施例电网中风电的调度方法的流程示意图,如图1所示,本发明提供的电网中风电的调度方法,包括:

[0026] S101、在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;

[0027] 具体地,为了实现电网对风电的最大化消纳,可以在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数,同时以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件。其中,所述第一优化目标函数可以涉及风电场的弃风率,所述第二目标函数可以涉及阻塞线路的影子价格。

[0028] S102、基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0029] 具体地,在建立所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数之后,可以基于NSGA-II算法(带精英策略的快速非支配排序遗传算法,Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II,简称NSGA-II算法)对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,即在所述第一优化目标函数中以所述风电场的弃风率为决策变量,在所述第二优化目标函数中,以所述阻塞线路的影子价格为决策变量,通过求解所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数,在满足所述约束条件的情况下,可以获得所述调度周期内的风电

调度方案。NSGA-II算法具有良好的非线性优化能力和鲁棒性,适用于对多目标函数的求解,是求解多目标优化问题的优秀智能算法之一。

[0030] 本发明提供的电网中风电的调度方法,由于能够在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置第一优化目标函数和第二优化目标函数的约束条件,然后基于NSGA-II算法对第一优化目标函数和第二优化目标函数进行求解,获得调度周期内的风电调度方案,在促进电网中风电消纳的同时,降低了用电成本。

[0031] 在上述各实施例的基础上,进一步地,所述第一优化目标函数为:

$$[0032] \quad \min F_1 = \min \left( C_{\text{cur}} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{N_w} (\Delta t P_{w_j,t} D_{w_j,t}) \right)$$

[0033] 其中, $C_{\text{cur}}$ 表示弃风惩罚系数, $P_{w_j,t}$ 表示风电场j在第t时刻的可调度风电功率, $D_{w_j,t}$ 表示风电场j在第t时刻的弃风率, $T$ 表示调度周期内的时段数, $\Delta t$ 表示所述调度周期内相邻时段的时间间隔, $N_w$ 表示所述调度周期内风电场的数量, $t$ 为正整数且 $t \leq T$ ;

[0034] 所述第二优化目标函数为:

$$[0035] \quad \min F_2 = \min \left( \sum_{t=1}^T (P_{L_i,t} \cdot C_{L_i,t}(SP)) \right)$$

[0036] 其中, $P_{L_i,t}$ 表示节点i在第t时刻的用户购电电量, $C_{L_i,t}(SP)$ 表示节点i在第t时刻的用户实时购电电价函数, $SP$ 表示阻塞线路的影子价格。

[0037] 具体地,风电场j在第t时刻的可调度风电功率可以通过所述电网中各个风电场的出力数据获得。调度周期可以为一天、一周或者一个月等,根据实际需要进行设置,本发明实施例不做限定。所述调度周期可以划分为多个时段,例如以24小时为一个所述调度周期,将所述调度周期划分为96个时段,那么 $T=96$ ,相邻所述时段的时间间隔 $\Delta t=24/96=0.25$ 小时。风电场j在第t时刻的弃风率 $D_{w_j,t}$ 为风电场j在第t时刻的弃风电量与风电场j总装机容量的比值,风电场j在t时刻的弃风电量等于风电场j的理论上网电量减去风电场j在t时刻的实际上网电量的差值。其中,弃风惩罚系数 $C_{\text{cur}}$ 根据实际经验进行设置,本发明实施例不做限定;所述时段数根据实际情况进行设置,本发明实施例不做限定。

[0038] 所述节点i在第t时刻的用户购电电量 $P_{L_i,t}$ 可以通过电网的动态负荷数据获得,节点i在第t时刻的用户实时购电电价函数 $C_{L_i,t}(SP)$ 是预设的,根据阻塞线路的影子价格 $SP$ 以及 $C_{L_i,t}(SP)$ 可以计算出节点i在第t时刻的用户实时购电电价。其中,所述节点是指将多条线路连接起来的点、接有负荷或者发电机的点。

[0039] 在上述各实施例的基础上,进一步地,所述约束条件包括:功率平衡约束条件、风电场的正负备用约束条件、常规机组功率调节速率约束条件、常规机组有功出力约束条件、风电发电机组有功出力约束条件、节点电压幅值约束条件、线路有功潮流约束条件、弃风率区间约束条件和阻塞线路的影子价格约束条件。

[0040] 具体地,所述功率平衡约束条件为:

$$[0041] \quad \sum_{i=1}^{N_G} P_{G_i} = \sum_{j=1}^{N_{load}} P_{L_j} + \sum_{k=1}^{N_l} P_{l_k}$$

[0042] 其中,  $N_G$ 表示总发电机组数,  $N_{load}$ 表示负荷节点数,  $N_l$ 表示线路数,  $P_{G_i}$ 表示第*i*机组的有功出力,  $P_{L_j}$ 表示第*j*个负荷节点的有功负荷,  $P_{l_k}$ 表示第*k*条线路的有功损耗, *i*为正整数且  $i \leq N_G$ , *j*为正整数且  $j \leq N_{load}$ , *k*为正整数且  $k \leq N_l$ 。其中, 所述负荷节点是指带有负荷的节点。负荷节点数  $N_{load}$ 通过所述电网的节点数据获得, 第*k*条线路的有功损耗  $P_{l_k}$ 通过所述电网的支路数据获得, 第*j*个负荷节点的有功负荷  $P_{L_j}$ 通过所述电网的动态负荷数据获得。

[0043] 风电场的正负备用约束条件为:

$$[0044] \quad \sum_{j=1}^W (\overline{P_{wind-j,t}} - P_{wind-j,t}) \geq \eta^+ \sum_{w=1}^W W_{capacity}$$

$$[0045] \quad \sum_{j=1}^W (P_{wind-j,t} - \underline{P_{wind-j,t}}) \geq \eta^- \sum_{w=1}^W W_{capacity}$$

[0046] 其中,  $\overline{P_{wind-j,t}}$ 表示第*t*时刻风电机组*j*的有功出力上限,  $\underline{P_{wind-j,t}}$ 表示第*t*时刻机组*j*的有功出力下限,  $\eta^+$ 表示正备用系数,  $\eta^-$ 表示负备用系数,  $P_{wind-j,t}$ 表示第*t*时刻的风电机组*j*的有功出力,  $W$ 表示风电场在第*t*时刻的运行机组数, *w*为正整数且  $w \leq W$ , *j*为正整数且  $j \leq W$ 。其中, 第*t*时刻风电机组*j*的有功出力上限和有功出力下限根据该时刻所述风电场的理论最大出力值和备用需求确定。

[0047] 常规机组功率调节速率约束条件为:

$$[0048] \quad \underline{V_{gi}} \Delta t \leq \Delta P_{gi} \quad \Delta t \leq \overline{V_{gi}} \Delta t$$

[0049] 其中,  $\underline{V_{gi}}$ 表示机组*i*输出功率的最大下降速率,  $\overline{V_{gi}}$ 表示机组*i*输出功率的最大上升速率,  $\Delta P_{gi} \Delta t$ 机组*i*在  $\Delta t$ 时间内的输出功率变化量。其中, 所述常规机组是指火力发电机组。

[0050] 常规机组有功出力约束条件为:

$$[0051] \quad \underline{P_{gi}} \leq P_{gi,t} \leq \overline{P_{gi}}$$

[0052] 其中,  $\underline{P_{gi}}$ 表示常规机组*i*的容量下限,  $\overline{P_{gi}}$ 表示常规机组*i*的容量上限,  $P_{gi,t}$ 表示常规机组*i*在第*t*时刻的有功出力。

[0053] 风电发电机组有功出力约束条件为:

$$[0054] \quad \underline{P_{wind-j,t}} \leq P_{wind-j,t} \leq \overline{P_{wind-j,t}}$$

[0055] 其中,  $\overline{P_{wind-j,t}}$ 表示第*t*时刻风电机组*j*的有功出力上限,  $\underline{P_{wind-j,t}}$ 表示第*t*时刻机

组j的有功出力下限,  $P_{wind-j,t}$ 表示第t时刻的风电机组j的有功出力。

[0056] 节点电压幅值约束条件为:

$$[0057] \quad V_i^{min} \leq V_i^\varphi \leq V_i^{max}$$

[0058] 其中,  $V_i^{max}$ 表示第i个节点电压水平的上限,  $V_i^{min}$ 表示第i个节点电压水平的下限,  $V_i^\varphi$ 表示节点i的电压水平。

[0059] 线路有功潮流约束条件为:

$$[0060] \quad |S_{ij}| \leq S_{ij}^{max}$$

[0061] 其中,  $S_{ij}^{max}$ 表示线路上允许流过的最大功率,  $|S_{ij}|$ 表示线路上流过的功率,  $|S_{ij}|$ 可以通过对所述电网的潮流计算获得。

[0062] 弃风率区间约束条件为:

$$[0063] \quad 0 \leq D_{w,j,t} \leq 1$$

[0064] 其中,  $D_{w,j,t}$ 表示风电场j在第t时刻的弃风率。

[0065] 阻塞线路的影子价格约束条件为:

$$[0066] \quad SP_{1,t}^{min} \leq SP_{1,t} \leq SP_{1,t}^{max}$$

[0067] 其中,  $SP_{1,t}^{max}$ 表示在第t时刻阻塞线路的影子价格的最大值,  $SP_{1,t}^{min}$ 表示在第t时刻所述阻塞线路的影子价格的最小值,  $SP_{1,t}$ 表示在第t时刻所述阻塞线路的影子价格。其中, 所述阻塞线路的影子价格, 是指为缓解阻塞线路L的有功 $\delta P$ , 在满足电网安全运行的基础上调整风电发电机组的输出功率所需最小费用 $\delta cost_{min}$ 与 $\delta P$ 的比值。其中,  $\delta P$ 根据所述阻塞线路L上第t时刻和第t-1时刻流过的功率的差值获得,  $\delta cost_{min}$ 根据所述风电机组的能耗系数及各自所需调整的功率获得。

[0068] 在上述各实施例的基础上, 进一步地, 所述阻塞线路的影子价格约束条件包括所述调度周期内各个时段的阻塞线路的影子价格约束条件, 每个所述时段的阻塞线路的影子价格约束条件根据各自对应的风电场期望的并网出力区间获得。

[0069] 具体地, 在所述调度周期内, 不同的时段的风电场期望的并网出力区间会有不同, 而不同的风电出力值对于调整所述风电发电机输出功率所需最小费用也不同, 也就导致不同的所述时段的阻塞线路的影子价格不同。因此, 所述调度周期内各个时段有各自对应的阻塞线路的影子价格约束条件。根据所述时段的风电场期望的并网出力区间的上限值可以获得第t时刻阻塞线路的影子价格的最大值, 根据所述时段的风电场期望的并网出力区间的下限值可以获得第t时刻阻塞线路的影子价格的最小值。

[0070] 图2为本发明另一实施例电网中风电的调度方法的流程示意图, 如图2所示, 在上述各实施例的基础上, 进一步地, 所述基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解, 获得所述调度周期内的风电调度方案包括:

[0071] S1021、基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解, 获得满足所述约束条件的Pareto最优解集;

[0072] 具体地, 在多目标优化中, 几乎不存在一组解使得所有的目标函数同时达到各自的最优值, 在调整决策变量的过程中各目标函数值往往是相互矛盾的, 某一个目标函数值的优化往往会导致其他目标函数值的劣化, 所以, 在本实施例中利用NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解, 只能获得满足所述约束条件的Pareto



最优解集。

[0073] S1022、从Pareto最优解集中获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0074] 具体地,在获得Pareto最优解集之后,可以采用偏小型满意度算法计算Pareto最优解集中所述调度周期内各个阶段每个非支配解的第一优化目标函数的函数值的满意度和第二优化目标函数的函数值的满意度值,然后根据各个所述阶段每个所述非支配解的第一优化目标函数的函数值的满意度和第二优化目标函数的函数值的满意度值,获得各个所述阶段每个所述非支配解的综合满意度值,最后获得每个所述阶段的所述综合满意度值最大的所述非支配解,作为各自对应的所述阶段的折中解,所述调度周期内各个阶段的所述折中解形成所述风电调度方案。

[0075] 例如,图3为本发明一实施例NSGA-II算法的求解流程图,如图3所示,基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解的步骤如下:

[0076] (1) 初始化NSGA-II算法的相关参数,所述相关参数包括初始种群的个体数量M,最大进化迭代次数N,收敛精度,调度周期内的时段数T等;

[0077] (2) 获取第t时段的初始数据,所述初始数据包括所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的已知量,各个所述约束条件的参数等,并设置所述弃风率和所述阻塞线路的影子价格为决策变量;

[0078] (3) 计算获得计及罚函数的第t时段的弃风率和阻塞线路的影子价格;

[0079] (4) 进行快速非支配排序和虚拟拥挤度距离计算;

[0080] (5) 进行遗传操作并产生子种群;

[0081] (6) 保留精英,得到下一代附带种群;

[0082] (7) 判断是否满足收敛精度或者达到最大进化迭代次数N,如果满足收敛精度或者达到最大进化迭代次数N,则输出第t时段Pareto最优解集;否则,返回步骤(3)继续迭代计算;

[0083] (8) 从第t时段Pareto最优解集中获得第t时段的折中解;

[0084] (9) 判断t是否小于等于T,如果t小于等于T, $t=t+1$ ,并返回步骤(2);否则,t大于T,进入下一步;

[0085] (10) 输出各个所述时段的折中解作为所述风电调度方案。

[0086] 图4为本发明又一实施例电网中风电的调度方法的流程示意图,如图4所示,所述从Pareto最优解集中获得所述调度周期内的风电调度方案包括:

[0087] S10221、采用偏小型满意度算法计算所述调度周期内各个阶段Pareto最优解集中每个非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值;

[0088] 具体地,每个所述非支配解包括第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值,根据偏小型满意度算法可以计算获得所述调度周期内各个阶段Pareto最优解集中每个非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值。其中,所述偏小型满意度算法的函数解析式如下:

$$[0089] \quad \mu_k = \begin{cases} 1, f_k \leq f_{kmin} \\ \frac{f_{kmax} - f_k}{f_k - f_{kmin}}, f_{kmin} \leq f_k \leq f_{kmax} \\ 1, f_k \geq f_{kmax} \end{cases}$$

[0090] 其中,  $\mu_k$  表示目标函数的第k个函数值的满意度,  $f_k$  表示所述目标函数的第k个函数值,  $f_{kmax}$  表示所述目标函数的函数值的最大值,  $f_{kmin}$  表示所述目标函数的函数值的最小值。

[0091] S10222、根据各个所述阶段每个所述非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值, 获得各个所述阶段每个所述非支配解的综合满意度值;

[0092] 具体地, 可以根据所述第一优化目标函数的函数值和所述第二优化目标函数的函数值的重要程度, 分别设置所述第一优化目标函数的函数值的满意度值的权重系数和所述第二优化目标函数的函数值的满意度值的权重系数, 对于每一个所述非支配解, 可以将所述非支配解的第一优化目标函数的函数值的满意度值与所述第一优化目标函数的函数值的满意度值的权重系数的乘积和所述非支配解的第二优化目标函数的函数值的满意度值与所述第二优化目标函数的函数值满意度值的的权重系数的乘积之和, 作为所述非支配解的综合满意度值。在所述调度周期内各个阶段, 可以获得各个所述阶段对应的每个所述非支配解的综合满意度值。其中, 所述权重系数根据实际经验进行设置, 本发明实施例不做限定。

[0093] S10223、获得每个所述阶段的所述综合满意度值最大的所述非支配解, 形成所述风电调度方案。

[0094] 具体地, 在获得每个所述阶段的各个所述非支配解的综合满意度值之后, 将各个所述非支配解的综合满意度值进行比较, 获得所述综合满意度值最大的所述非支配解, 作为该阶段的折中解。获得所述调度周期内各个所述阶段的折中解形成所述风电调度方案。

[0095] 在上述各实施例的基础上, 进一步地, 所述根据各个所述阶段每个所述非支配解的第一优化目标函数的函数值和第二优化目标函数的函数值的满意度值, 获得各个所述阶段每个所述非支配解的综合满意度值包括:

[0096] 根据公式  $S = w_1\delta_1 + w_2\delta_2$  计算获得所述非支配解的综合满意度值, 其中,  $S$  表示所述非支配解的综合满意度值,  $\delta_1$  表示所述非支配解的第一优化目标函数的函数值的满意度值,  $w_1$  表示  $\delta_1$  对应的权重系数,  $\delta_2$  表示所述非支配解的第二优化目标函数的函数值的满意度值,  $w_2$  表示  $\delta_2$  对应的权重系数。

[0097] 具体地, 在获得所述非支配解的第一优化目标函数的函数值的满意度值  $\delta_1$  和所述非支配解的第二优化目标函数的函数值  $\delta_2$  之后, 可以根据公式  $S = w_1\delta_1 + w_2\delta_2$  计算获得所述非支配解的综合满意度值  $S$ , 其中,  $w_1$  表示  $\delta_1$  对应的权重系数,  $w_2$  表示  $\delta_2$  对应的权重系数,  $w_1$  和  $w_2$  根据实际经验进行设置, 本发明实施例不做限定。

[0098] 图5为本发明一实施例电网中风电的调度装置的结构示意图, 如图5所示, 本发明提供的电网中风电的调度装置包括建立单元501和求解单元502, 其中:

[0099] 建立单元501用于在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数, 并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件; 求解单元502用于基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解, 获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0100] 具体地, 为了实现电网对风电的最大化消纳, 建立单元501可以在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数, 同时以用户侧的购电成本最小

为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件。其中,所述第一优化目标函数可以涉及风电场的弃风率,所述第二目标函数可以涉及阻塞线路的影子价格。

[0101] 在建立所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数之后,求解单元502可以基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,即在所述第一优化目标函数中以所述风电场的弃风率为决策变量,在所述第二优化目标函数中,以所述阻塞线路的影子价格为决策变量,通过求解所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数,在满足所述约束条件的情况下,可以获得所述调度周期内的风电调度方案。NSGA-II算法具有良好的非线性优化能力和鲁棒性,适用于对多目标函数的求解,是求解多目标优化问题的优秀智能算法之一。

[0102] 本发明提供的电网中风电的调度装置,由于能够在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置第一优化目标函数和第二优化目标函数的约束条件,然后基于NSGA-II算法对第一优化目标函数和第二优化目标函数进行求解,获得调度周期内的风电调度方案,在促进电网中风电消纳的同时,降低了用电成本。

[0103] 本发明提供的装置的实施例具体可以用于执行上述各方法实施例的处理流程,其功能在此不再赘述,可以参照上述方法实施例的详细描述。

[0104] 图6为本发明一实施例电子设备的实体结构示意图,如图6所示,所述电子设备包括处理器(processor)601、存储器(memory)602和通信总线603;

[0105] 其中,处理器601、存储器602通过通信总线603完成相互间的通信;

[0106] 处理器601用于调用存储器602中的程序指令,以执行上述各方法实施例所提供的方法,例如包括:在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0107] 本实施例公开一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法实施例所提供的方法,例如包括:在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0108] 本实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述各方法实施例所提供的方法,例如包括:在电网的调度周期内以风电场的弃风成本最小为目标建立第一优化目标函数和以用户侧的购电成本最小为目标建立第二优化目标函数,并设置所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数的约束条件;基于NSGA-II算法对所述第一优化目标函数和所述第二优化目标函数进行求解,获得所述调度周期内的风电调度方案。

[0109] 此外,上述的存储器中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立

的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,装置,或者网络设备)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0110] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0111] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。基于这样的理解,上述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中,如ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0112] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解: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;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

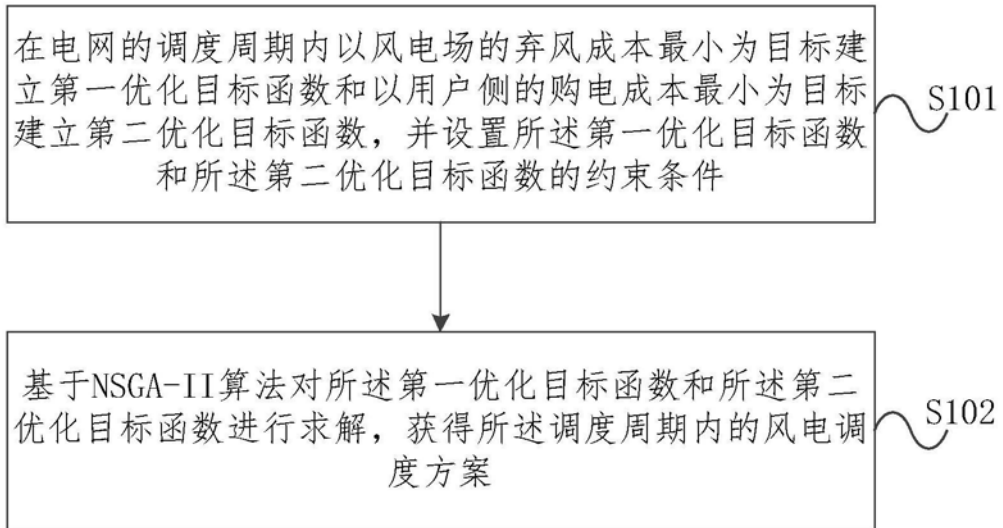


图1

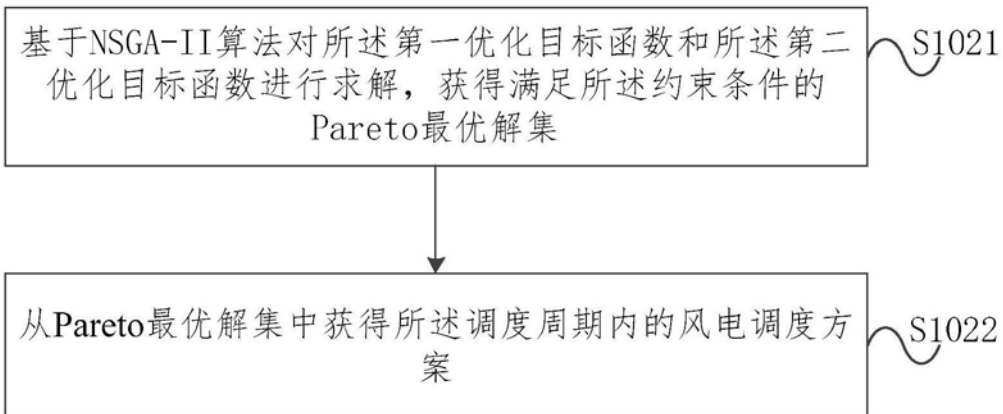


图2

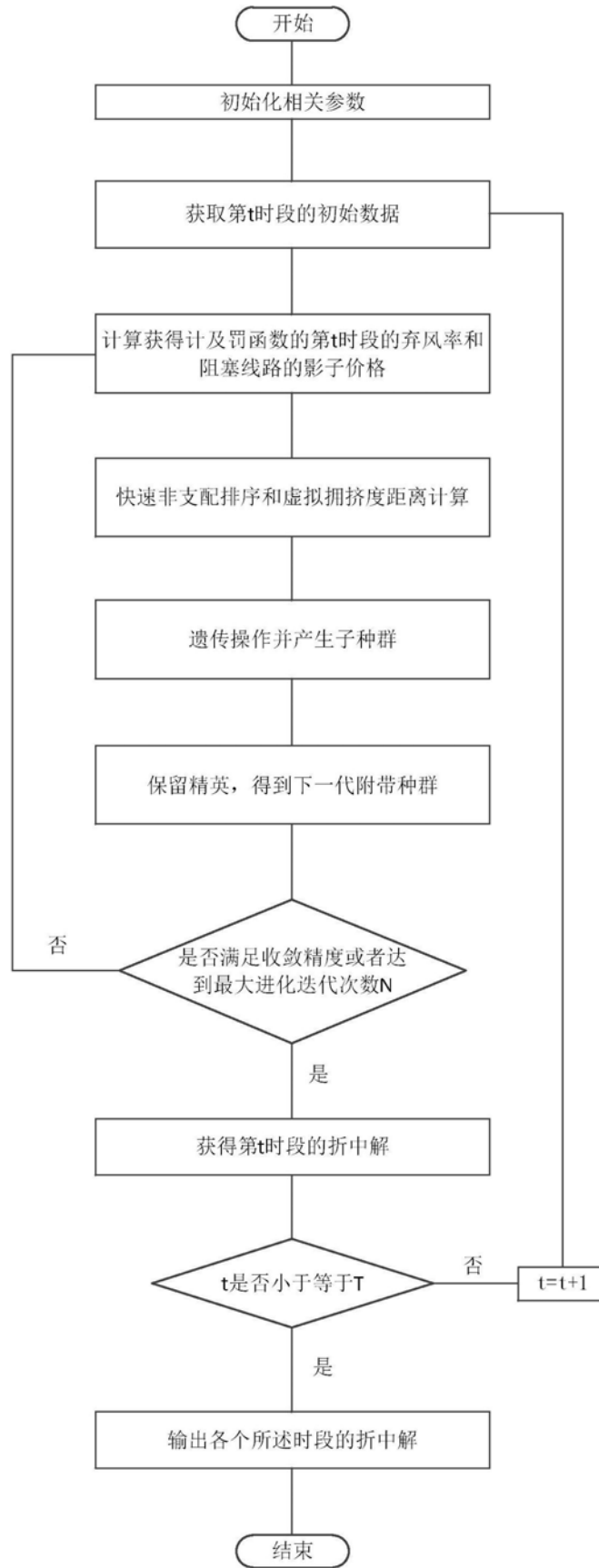


图3

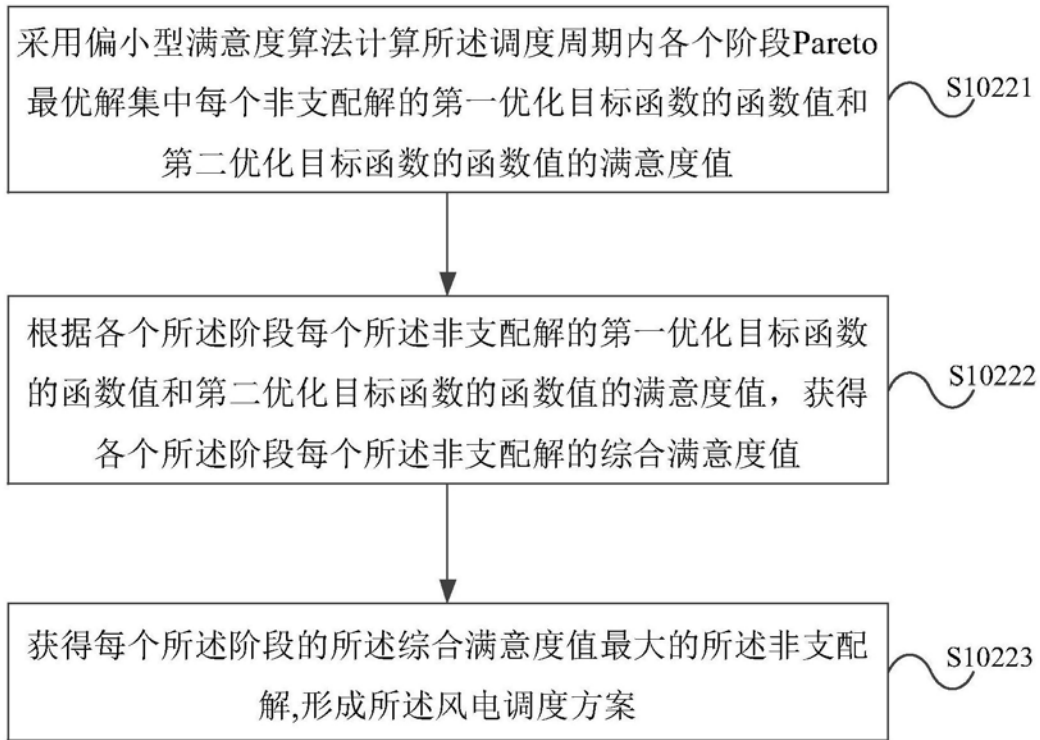


图4

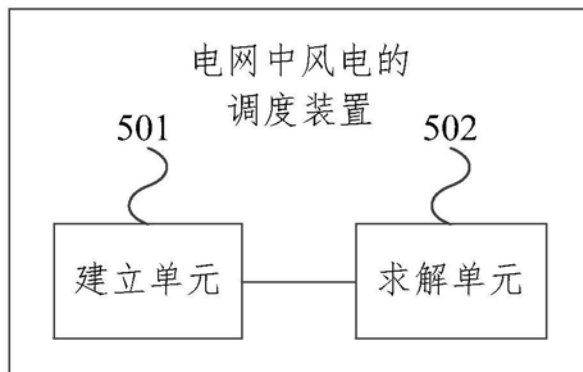


图5

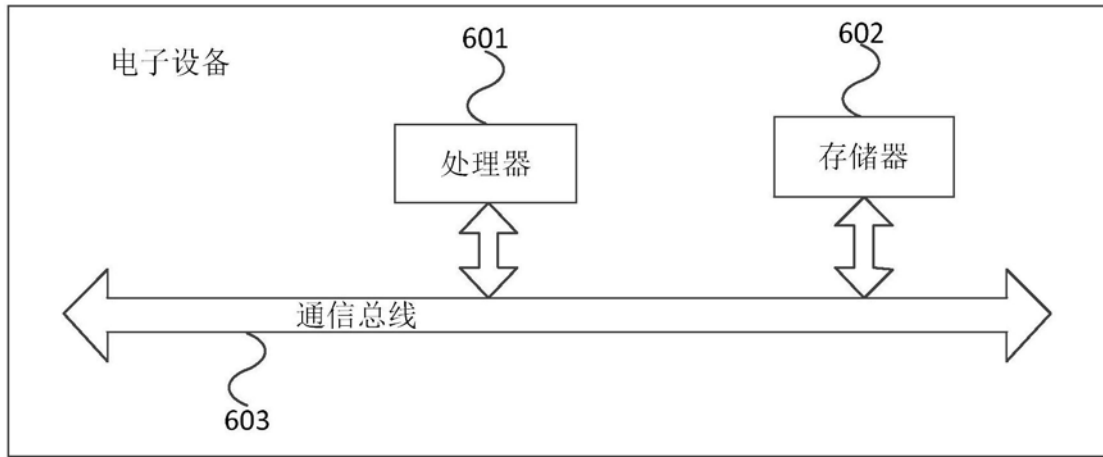


图6