



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103219748 B

(45) 授权公告日 2015.04.08

(21) 申请号 201210019317.0

(22) 申请日 2012.01.20

(73) 专利权人 华北电力科学研究院有限责任公司

地址 100045 北京市复兴门外地藏庵南巷一号

专利权人 华北电网有限公司 清华大学
国家电网公司

(72) 发明人 孔涛 孙瑜 李群炬 吴涛
涂少良 沈卫东 徐华 王信
李付强 陈丽萍 胡泽春 秦砺寒
徐洁 梁玉枝 赵炜炜 罗玮
王旻楠 李善颖

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 任默闻

(51) Int. Cl.

H02J 3/46(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102170170 A, 2011.08.31,

CN 102255337 A, 2011.11.23,

CN 102280878 A, 2011.12.14,

夏澍等. 含大规模风电场的电力系统动态经济调度. 《电力系统保护与控制》. 2011, 第39卷(第13期),

金毓军等. 基于经济调峰平衡的区域电网风电接纳能力研究. 《2009年风电场接入电网技术专题研讨会论文集》. 2009, 143-147.

审查员 高文杰

权利要求书5页 说明书12页 附图8页

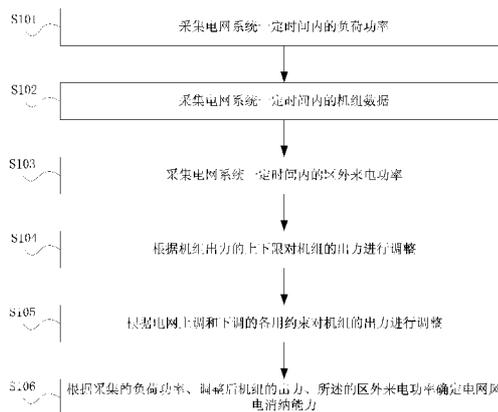
(54) 发明名称

一种电网风电消纳能力的确定方法及系统

(57) 摘要

本发明实施例提供了一种电网风电消纳能力的确定方法及系统,所述方法包括:采集电网系统一定时间内的负荷功率;采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括:机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率;采集电网系统一定时间内的区外来电功率;根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整;根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整;根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定电网风电消纳能力。通过综合考虑高峰和低谷两个负荷水平下电网系统的功率平衡和每台机组的开停机状态及出力范围,将上述的众多因素在混合整数规划模型中统一优化,得到风电出力的最优解。

CN 103219748 B



1. 一种电网风电消纳能力的确定方法,其特征是,所述的方法包括:

采集电网系统一定时间内的负荷功率;

采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括:机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率;

采集电网系统一定时间内的区外来电功率;

根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整,该步骤按照如下公式进行:

$$u_i^p P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^p \leq u_i^p P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

$$u_i^t P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^t \leq u_i^t P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

其中, $P_{g,i}^{\min}$ 和 $P_{g,i}^{\max}$ 分别为机组 i 出力的上下限; u_i^p 、 u_i^t 分别为机组 i 在负荷功率的高峰和低谷时的启停状态, u_i^p 、 u_i^t 的取值由如下公式进行约束:

$$u_i^p, u_i^t \in \{0,1\}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (3);$$

根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整,该步骤按照如下公式进行:

$$\sum_{i=1}^N (u_i^p P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^p) \geq \alpha L^p \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N (P_{g,i}^p - u_i^t P_{g,i}^{\min}) \geq \beta L^t \quad (5)$$

其中, α 、 β 分别为上调和下调备用系数;

根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定电网风电消纳能力,该步骤按照如下公式进行:

$$\sum_{i=1}^N P_{g,i}^p + A^p + W^p = L^p \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N P_{g,i}^t + A^t + W^t = L^t \quad (7)$$

其中,上标 p 、 t 分别为负荷功率的高峰和低谷, $P_{g,i}$ 为机组 i 的出力, A 为区外来电功率, W 为风电出力, L 为负荷功率, N 为当前电网系统内的机组台数, L^p 为负荷功率的高峰, L^t 为负荷功率的低谷, $P_{g,i}^p$ 为机组 i 的出力的高峰, $P_{g,i}^t$ 为机组 i 的出力的低谷。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,所述的方法还包括:根据机组爬坡能力对机组的出力进行调整。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征是,所述的根据机组爬坡能力对机组的出力进行调整按照如下公式进行:

$$\eta^u W^p + \varepsilon^d L^p \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^d P_{g,i}^p \quad (8)$$

$$\eta^d W^t + \varepsilon^u L^t \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^u P_{g,i}^t \quad (9)$$

其中, η^d 、 η^u 分别为风电出力减小和增大的变化率, ε^d 、 ε^u 分别为负荷功率减小和增大的变化率, $\tau_{g,i}^d$ 、 $\tau_{g,i}^u$ 分别为机组 i 的下调和上调速率。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,当所述的电网系统中机组类型包括大小机组时,该方法还包括:

根据大小机组开机平衡对机组的出力进行调整。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征是,所述的根据大小机组开机平衡对机组的出力进行调整按照如下公式进行:

$$\sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^p \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^t \quad (11)$$

其中, M 为当前电网系统中的总机组数, M_1 为大机组数,编号为 1 至 M_1 ,小机组为 $M-M_1$ 台,编号为 M_1+1 至 M , γ^p 、 γ^t 分别为负荷高峰时和负荷低谷时的所有大机组与小机组开机比例系数之差。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,当所述的电网系统在供热期且开停机状态不变时,该方法还包括:按照如下公式对机组的出力进行调整:

$$\bar{u}_j^p = u_j^t, \quad j \in \Omega^0 \quad (12)$$

其中, Ω^0 为热电机组集合;

当所述的电网系统在供热期且其出力不可调整,按照如下公式对机组的出力进行调整:

$$P_{g,j}^p = P_{g,j}^t = P_{g,j}^{set}, \quad j \in \Omega^1 \quad (13)$$

其中, $P_{g,j}^{set}$ 为第 j 台热电机组的设定出力, Ω^1 为出力不可调的热电机组集合。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,当所述的电网系统在供热期且供热机组必须开机时,该方法还包括:将供热机组 i 的 u_i^p 和 u_i^t 设置为 1。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,所述的方法还包括根据如下公式对机组的出力进行调整:

$$\sum_{i=1}^N |u_i^p - u_i^t| \leq K \quad (14)$$

其中, K 为预设的启停机组数的最大值。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,所述的方法还包括:在负荷功率的高峰和低谷时,保持机组的启停状态相同。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其特征是,所述的在负荷功率的高峰和低谷时,保持

机组的启停状态相同按照如下公式进行：

$$u_i^p = u_i^t, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

11. 一种电网风电消纳能力的确定系统,其特征是,所述的系统包括：

负荷功率采集装置,用于采集电网系统一定时间内的负荷功率；

机组数据采集装置,用于采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括：机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率；

区外来电功率采集装置,用于采集电网系统一定时间内的区外来电功率；

上下限调整装置,用于根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整,该装置通过如下公式进行：

$$u_i^p P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^p \leq u_i^p P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

$$u_i^t P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^t \leq u_i^t P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

其中, $P_{g,i}^{\min}$ 和 $P_{g,i}^{\max}$ 分别为机组 i 出力的上下限; u_i^p 、 u_i^t 分别为机组 i 在负荷功率的高峰和低谷时的启停状态, u_i^p 、 u_i^t 的取值由如下公式进行约束：

$$u_i^p, u_i^t \in \{0,1\}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3);$$

备用约束调整装置,用于根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整,该装置按照如下公式进行：

$$\sum_{i=1}^N (u_i^p P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^p) \geq \alpha L^p \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N (P_{g,i}^p - u_i^t P_{g,i}^{\min}) \geq \beta L^t \quad (5)$$

其中, α 、 β 分别为上调和下调备用系数；

风电消纳能力确定装置,用于根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定负荷最小值时的风电出力,该装置按照如下公式进行：

$$\sum_{i=1}^N P_{g,i}^p + A^p + W^p = L^p \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N P_{g,i}^t + A^t + W^t = L^t \quad (7)$$

其中,上标 p、t 分别为负荷功率的高峰和低谷, $P_{g,i}$ 为机组 i 的出力, A 为区外来电功率, W 为风电出力, L 为负荷功率, N 为当前电网系统内的机组台数, L^p 为负荷功率的高峰, L^t 为负荷功率的低谷, $P_{g,i}^p$ 为机组 i 的出力的高峰, $P_{g,i}^t$ 为机组 i 的出力的低谷。

12. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征是,所述的系统还包括:爬坡能力调整装置,用于根据机组爬坡能力对机组的出力进行调整。

13. 根据权利要求 12 所述的系统,其特征是,所述的爬坡能力调整装置按照如下公式

进行：

$$\eta^u W^p + \varepsilon^d L^p \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^d P_{g,i}^p \quad (8)$$

$$\eta^d W^t + \varepsilon^u L^t \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^u P_{g,i}^t \quad (9)$$

其中， η^d 、 η^u 分别为风电出力减小和增大的变化率， ε^d 、 ε^u 分别为负荷功率减小和增大的变化率， $\tau_{g,i}^d$ 、 $\tau_{g,i}^u$ 分别为机组 i 的下调和上调速率。

14. 根据权利要求 11 所述的系统，其特征是，当所述的电网系统中机组类型包括大小机组时，该系统还包括：

开机平衡调整装置，用于根据大小机组开机平衡对机组的出力进行调整。

15. 根据权利要求 14 所述的系统，其特征是，所述的开机平衡调整装置，按照如下公式进行：

$$\sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^p \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^t \quad (11)$$

其中， M 为当前电网系统中的总机组数， M_1 为大机组数，编号为 1 至 M_1 ，小机组为 $M-M_1$ 台，编号为 M_1+1 至 M ， γ^p 、 γ^t 分别为负荷高峰时和负荷低谷时的所有大机组与小机组开机比例系数之差。

16. 根据权利要求 11 所述的系统，其特征是，当所述的电网系统在供热期且开停机状态不变时，该系统还包括：按照如下公式对机组的处理进行调整：

$$u_j^p = u_j^t, \quad j \in \Omega^0 \quad (12)$$

其中， Ω^0 为热电机组集合；

当所述的电网系统在供热期且其出力不可调整，按照如下公式对机组的出力进行调整：

$$P_{g,j}^p = P_{g,j}^t = P_{g,j}^{set}, \quad j \in \Omega^1 \quad (13)$$

其中， $P_{g,j}^{set}$ 为第 j 台热电机组的设定出力， Ω^1 为出力不可调的热电机组集合。

17. 根据权利要求 11 所述的系统，其特征是，当所述的电网系统在供热期且供热机组必须开机时，该系统还包括：将供热机组 i 的 u_i^p 和 u_i^t 设置为 1。

18. 根据权利要求 11 所述的系统，其特征是，所述的系统还包括根据如下公式对机组的出力进行调整：

$$\sum_{i=1}^N |u_i^p - u_i^t| \leq K \quad (14)$$

其中， K 为预设的启停机组数的最大值。

19. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征是,所述的系统还包括:机组启停调整装置,用于在负荷功率的高峰和低谷时,保持机组的启停状态相同。

20. 根据权利要求 19 所述的系统,其特征是,所述的机组启停调整装置按照如下公式进行:

$$u_i^p = u_i^t, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (15)。$$

一种电网风电消纳能力的确定方法及系统

技术领域

[0001] 本发明关于电网规划领域,特别是关于风电并网后的电网规划领域,具体的讲是一种电网风电消纳能力的确定方法及系统。

背景技术

[0002] 近些年,我国风电装机容量逐步增加。与水力发电、火力发电等常规发电方式相比,风力发电最根本的不同点在于其有功出力的随机性、间歇性和不可控性。为了维持电力系统的正常运行,在风电并网运行时,必须由其它常规发电方式为其有功出力提供补偿调节,以保证对用电负荷持续、可靠、安全地供电。这种对风电有功出力的补偿调节可看作是对负的负荷波动的跟踪,即对风电“调峰”。

[0003] 电力系统的调峰能力主要由电源、负荷等特性所决定。在风电大规模并网后,电力系统特性发生了较大的变化,所能提供的调峰能力需要做相应的调整。风电并网运行之前,电网的调峰任务主要是在满足必要的安全预度的前提下,应对系统的负荷波动。风电并网运行后,风电的随机性、间歇性将给电网运行方式和系统调峰带来较大影响,需考虑风电出力特性、常规电网装机水平制约、系统负荷特性等多方面因素。此外,若并网风电超过电网可为风电提供的调峰极限,电网将难以平衡风电出力,从而造成频率越限,严重时将导致电网解列。因此,研究大规模风电并网后的电网风电消纳能力,对于指导风电有序开发具有重要意义。

[0004] 现有技术中的电网规划主要考虑电网运行的一些实际条件,构建了风电消纳能力的模型,如第 33 卷第 18 期的《电网技术》中发表的《京津唐电网风力发电并网调峰特性分析》。但利用这些风电消纳能力的模型进行规划时,对具体机组的调峰能力按机组类型划分,但无法具体到每台机组的开停机状态,且这类模型的结果存在一定的误差。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供了一种电网风电消纳能力的确定方法及系统,通过综合考虑高峰和低谷两个负荷水平下电网系统的功率平衡和每台机组的开停机状态及出力范围,将上述的众多因素在混合整数规划模型中统一优化,得到风电出力的最优解。

[0006] 本发明的目的之一是,提供一种电网风电消纳能力的确定方法,包括:采集电网系统一定时间内的负荷功率;采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括:机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率;采集电网系统一定时间内的区外来电功率;根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整;根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整;根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定电网风电消纳能力。

[0007] 本发明的目的之一是,提供一种电网风电消纳能力的确定系统,包括:负荷功率采集装置,用于采集电网系统一定时间内的负荷功率;机组数据采集装置,用于采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括:机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、

非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率；区外来电功率采集装置，用于采集电网系统一定时间内的区外来电功率；上下限调整装置，用于根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整；备用约束调整装置，用于根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整；风电消纳能力确定装置，用于根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定电网风电消纳能力。

[0008] 本发明的有益效果在于，通过综合考虑高峰和低谷两个负荷水平下电网系统的功率平衡和每台机组的开停机状态及出力范围，将上述的众多因素在混合整数规划模型中统一优化，得到风电出力的最优解，并且易于区别供热机组在供热期和非供热期的不同出力特性，综合考虑电网系统传输能力约束对调峰能力及风电消纳能力的影响，由于具体到每一台机组的状态，结果更为细致、可信。

附图说明

[0009] 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简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅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性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0010] 图 1 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的流程图；

[0011] 图 2 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的实施方式二的流程图；

[0012] 图 3 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的实施方式三的流程流程图；

[0013] 图 4 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的实施方式四的流程流程图；

[0014] 图 5 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的结构框图；

[0015] 图 6 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的实施方式二的结构框图；

[0016] 图 7 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的实施方式三的结构框图；

[0017] 图 8 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的实施方式四的结构框图。

具体实施方式

[0018] 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、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅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。

[0019] 图 1 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的结构框图，由图 1 可知，该方法包括：

[0020] S101：采集电网系统一定时间内的负荷功率。根据不同的方案，可分别采集不同时

间周期内的负荷功率波动曲线,采集周期可包括年、季、月、日等。

[0021] S102:采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括:机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率。除了上述机组数据外,还可采集机组的调峰能力、出力受阻等相关参数。

[0022] S103:采集电网系统一定时间内的区外来电功率。对于不同的电网系统,区外来电功率可为正值、负值或者为零。

[0023] S104:根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整。可通过如下公式实现该步骤:

$$[0024] \quad u_i^p P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^p \leq u_i^p P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,L,N \quad (1)$$

$$[0025] \quad u_i^t P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^t \leq u_i^t P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,L,N \quad (2)$$

[0026] 其中, $P_{g,i}^{\min}$ 和 $P_{g,i}^{\max}$ 分别表示机组 i 出力的上下限, i 为 $1,2,\dots,N$, N 为当前电网系统内的机组台数; u_i^p 、 u_i^t 分别为机组 i 在负荷功率的高峰和低谷时的启停状态, u_i^p 、 u_i^t 的取值由如下公式进行约束:

$$[0027] \quad u_i^p, u_i^t \in \{0,1\}, \quad i=1,2,L,N \quad (3)。$$

[0028] 即 u_i^p 、 u_i^t 取值为 0 时,代表机组 i 为停止状态,当 u_i^p 、 u_i^t 取值为 1 时,代表机组 i 为开启状态。

[0029] S105:根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整。可通过如下公式实现该步骤:

$$[0030] \quad \sum_{i=1}^N (u_i^p P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^p) \geq \alpha L^p \quad (4)$$

$$[0031] \quad \sum_{i=1}^N (P_{g,i}^p - u_i^t P_{g,i}^{\min}) \geq \beta L^t \quad (5)$$

[0032] 其中, α 、 β 分别为上调和下调备用系数。

[0033] S106:根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定电网风电消纳能力。可通过如下公式实现该步骤:

$$[0034] \quad \sum_{i=1}^N P_{g,i}^p + A^p + W^p = L^p \quad (6)$$

$$[0035] \quad \sum_{i=1}^N P_{g,i}^t + A^t + W^t = L^t \quad (7)$$

[0036] 其中,上标 p 、 t 分别为负荷功率的高峰和低谷, $P_{g,i}$ 为机组 i 的出力, A 为区外来电功率, W 为风电出力, L 为负荷功率, N 为当前电网系统内的机组台数。

[0037] 图 2 是本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的实施方式二的流程图,由图 2 可知,除了上述步骤之外,该方法还包括:

[0038] S207:根据机组爬坡能力对机组的出力进行调整。该步骤通过如下公式实现:

$$[0039] \quad \eta^u W^p + \varepsilon^d L^p \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^d P_{g,i}^p \quad (8)$$

$$[0040] \quad \eta^d W^t + \varepsilon^u L^t \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^u P_{g,i}^t \quad (9)$$

[0041] 其中, η^d 、 η^u 分别为风电出力减小和增大的变化率, ε^d 、 ε^u 分别为负荷功率减小和增大的变化率, $\tau_{g,i}^d$ 、 $\tau_{g,i}^u$ 分别为机组 i 的下调和上调速率 (在供热期, 可不考虑供热机组的爬坡能力)。

[0042] 该步骤主要针对电网系统的机组出力跟踪风电出力和负荷功率变化的能力, 公式 (8)、(9) 分别表示在高峰负荷水平机组下调能力和低谷符合水平机组上调能力约束。

[0043] 对公式 (8), 其右侧项表示所有机组向下的爬坡能力之和; 左侧第一项表示风电在负荷高峰时段的变化率 (风电出力增大), 第二项表示负荷在其高峰时段的变化率 (负荷减小)。

[0044] 对公式 (9), 其右侧项表示所有机组向上的爬坡能力之和; 左侧第一项表示风电在负荷低谷时段的变化率 (风电出力减小), 第二项表示负荷在其低谷时段的变化率 (负荷增大)。

[0045] 图 3 是本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的实施方式三的流程, 由图 3 可知, 除了上述步骤之外, 该方法还包括:

[0046] S308: 根据大小机组开机平衡对机组的出力进行调整。该步骤可通过如下公式实现:

$$[0047] \quad \sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^p \quad (10)$$

$$[0048] \quad \sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^t \quad (11)$$

[0049] 一般而言, 煤电大机组的出力调节范围和小机组相比, 更宽, 因而为接纳更多的风电, 大机组在开机机会上具有优势。若考虑发电机组出力的电量平衡, 可增加对大小机组开机比例的约束。设当前电力系统共有 N 台机组, 有 M 台煤电机组, 其中大机组 M_1 台, 编号为 1 至 M_1 ; 小机组为 $M-M_1$ 台, 编号为 M_1+1 至 M 。上述公式中, γ^p 、 γ^t 分别为负荷高峰时和负荷低谷时的所有大机组与小机组开机比例系数之差, 可根据电力系统的情况设定, 设定的值越接近于 0, 则大小机组的开机平衡性越好。

[0050] 当所述的电网系统在供热期且开停机状态不变时, 该方法还包括: 按照如下公式对机组的处理进行调整:

$$[0051] \quad u_j^p = u_j^t, \quad j \in \Omega^0 \quad (12)$$

[0052] 其中, Ω^0 为热电机组集合;

[0053] 当所述的电网系统在供热期且其出力不可调整, 按照如下公式对机组的出力进行调整:

$$[0054] \quad P_{g,j}^p = P_{g,j}^t = P_{g,j}^{set}, \quad j \in \Omega^1 \quad (13)$$

[0055] 其中, $P_{g,j}^{set}$ 为第 j 台热电机组的设定出力, Ω^1 为出力不可调的热电机组集合。

[0056] 当所述的电网系统在供热期且供热机组必须开机时, 该方法还包括: 对于在供热期必须开机的供热机组 i , 将 u_i^p 和 u_i^t 设置为 1, 其发电出力范围可根据机组的实际情况设为

定值或一个较小的区间。

[0057] 图 4 是本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法的实施方式四的流程图,由图 4 可知,除了上述步骤之外,该方法还包括:

[0058] S409:针对电力系统的不同情况,如果不考虑同一台机组启停状态的变化,即要求在负荷高峰和负荷低谷时段,同一台机组的启停方式相同,则

$$[0059] \quad u_i^p = u_i^t, \quad i = 1, 2, L, N \quad (15)$$

[0060] 针对电力系统的不同情况,如果考虑同一台机组的启停状态变化,但最多启停机组数为 K 时,按照如下公式对机组出力进行调整:

$$[0061] \quad \sum_{i=1}^N |u_i^p - u_i^t| \leq K \quad (14)$$

[0062] 中, K 为预设的启停机组数的最大值。

[0063] 下面结合具体的实施例,详细介绍本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法。以采集到的京津唐电网 2010 年负荷和装机数据为例,对上述方法进行测试并同已有方法进行比较。

[0064] S1:采集电网系统一定时间内的机组数据。该实施例中采集的机组数据主要包括:

[0065] (i) 新建的单机容量为 600MW 及以上的机组,调峰能力为 60%,新建的 300MW 及以上的机组,调峰能力为 50%,投产时间较早的 300MW ~ 600MW 机组的调峰能力为 50%,单机容量为 300MW 以下机组的调峰能力为 30%,地方的小机组调峰能力为 10%。

[0066] (ii) 热电机组在供热期的出力受阻为 20% (出力受阻表示因为机组需要供热,发电不能满出力,最大只能发出 80%的额定功率),调峰能力为 5%,非供热期的调峰能力为 45%。

[0067] (iii) 燃气机组,在供热期的出力受阻为 20%,调峰能力为 5%,非供热期的调峰能力为 20%。

[0068] (iv) 水电厂和抽蓄机组参与调峰。

[0069] (v) 地方小机组及自备电厂参与功率平衡。

[0070] S2:采集电网系统一定时间内的区外来电功率。区外来电,诸如区内省间西电东送、特高压交流、区外直流等,按照目前西电东送实际运行送电协议,均设置负荷高峰期按 100%容量送电,负荷低谷期按 50%容量送电。

[0071] S3:采集电网系统一定时间内的负荷功率。在本实施例中,采集的负荷功率为电网系统在三种典型日的峰谷差,如下表所示,按月度统计日负荷的峰谷差:

[0072] 表 1

[0073]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日最大峰谷差统计结果												
最大峰谷差	1038.2	916.1	937.7	893.6	961.2	1186.6	1422.5	3446.6	1190.6	1110.9	1091.2	1131.3
所在天	5	33	75	103	147	180	208	241	257	300	313	348
最大峰谷差日峰荷	3821.9	3546.4	3661.6	3554.9	3552.7	3847	4493.9	3756.6	3766.9	3558.1	3629.1	4066.7
最大峰谷差日谷荷	2783.7	2630.3	2723.9	2661.3	2591.5	2660.4	3071.4	3100	2576.3	2447.2	2537.9	2935.4
日最小负荷统计结果												
最小负荷	2676.1	2212.2	2552.9	2548.7	2370	2488	2529.4	2582.6	2229.6	2136.7	2316.1	2869.8
最小负荷所在天	31	49	61	117	123	170	202	235	267	277	306	341
最小负荷日峰荷	3371.1	2808.6	3407.3	3431.7	3139.3	3427.7	3738.4	3432.8	3108.6	2890	3348.7	3935.9

[0074]

最小负荷日峰谷差	695	596.4	854.4	883	769.3	939.7	1209	850.2	879	753.3	1032.6	1066.1
日最小负荷率统计结果												
最小负荷率	72.84	74.17	74.39	74.27	72.33	69.16	67.66	68.89	68.39	67.76	69.16	72.18
负荷率最小日	5	33	75	117	145	180	202	229	257	292	306	348
最小负荷率日峰荷	3821.9	3546.4	3661.6	3431.7	3446.3	3847	3738.4	4185.1	3766.9	3366.9	3348.7	4066.7
最小负荷率日谷荷	2783.7	2630.3	2723.9	2548.7	2492.8	2660.4	2529.4	2883.3	2576.3	2281.5	2316.1	2935.4
对应峰谷差	1038.2	916.1	937.7	883	953.5	1186.6	1209	1301.8	1190.6	1085.4	1032.6	1131.3

[0075] 此外,本实施例中:

[0076] (i)、不考虑机组的启停,即机组同日内的启停状态不变,即所有 $u_i^p = u_i^t$;

[0077] (ii)、本实施例种考虑最严重情况,负荷高峰时刻风电出力为 0,即 $W^p = 0$;

[0078] (iii)、取上调备用率为 5%,下调备用率为 0%;

[0079] (iv)、本实施例中不考虑大小机组的开机平衡;

[0080] (v)、不考虑机组的爬坡约束。

[0081] 上述采集的数据以及根据在日最大负荷峰谷差、最小负荷、最小负荷率三种统计方式下,采用本发明提出的一种电网风电消纳能力的确定方法,可得出 2010 年京津唐电网各月电网风电消纳能力 W_t 如表 2 所示。

[0082] 表 2

[0083]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
最大峰谷差	497.2	464.9	508.5	1124.9	1056.5	955.5	992.7	1447.3	917.6	908.9	337.9	537.9
最小负荷	587.1	364.2	447.9	1082.0	1063.0	1023.5	887.2	1115.3	939.1	957.4	235.7	533.3
最小负荷率	497.2	464.9	508.5	1082.0	1017.6	955.5	887.2	983.1	917.6	850.6	235.7	537.9
最小值	497.2	364.2	447.9	1082.0	1017.6	955.5	887.2	983.1	917.6	850.6	235.7	533.3

[0084] 由表 2 可知,调峰能力的最小值出现在 11 月份,其次是 2 月份。根据日负荷最大峰谷差确定调峰能力,得到的结果比较乐观,而调峰能力的最小值一般出现在最小负荷日或最小负荷率日。

[0085] 根据上述采集的数据,通过背景技术中提及的第 33 卷第 18 期的《电网技术》中发表的《京津唐电网风力发电并网调峰特性分析》中的方法,针对日最大负荷峰谷差,得到的结果如表 3 所示。

[0086] 表 3

[0087]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
最大峰谷差	405.6	379.5	419.8	1096.5	1027.7	960.7	1072.8	1442.0	913.6	880.9	248.9	444.2
最小负荷率	405.6	379.5	419.8	1040.8	978.2	960.7	879.8	1027.4	913.6	803.6	156.6	444.2

[0088] 通过对比表 2、表 3 可知,与本发明中提及的方法相比,可以看出:表 3 的方法得到的调峰能力与本发明中的方法相比,所得到的结果小偏小(11 月);在 7 月份,由于没有考虑具体的开停机,得到的结果偏大,采用日最大峰谷差确定的调峰能力不精确。

[0089] 图 5 为本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的结构框图,由图 5 可知,该系统包括:

[0090] 负荷功率采集装置 100,用于采集电网系统一定时间内的负荷功率。根据不同的方案,可分别采集不同时间周期内的负荷功率波动曲线,采集周期可包括年、季、月、日等。

[0091] 机组数据采集装置 200,用于采集电网系统一定时间内的机组数据,所述的机组数据包括:机组类型、额定容量、供热期的出力上下限、非供热期的出力上下限以及机组爬坡速率:。除了上述机组数据外,还可采集机组的调峰能力、出力受阻等相关参数。

[0092] 区外来电功率采集装置 300,用于采集电网系统一定时间内的区外来电功率。对于不同的电网系统,区外来电功率可为正值、负值或者为零。

[0093] 上下限调整装置 400,用于根据机组出力的上下限对机组的出力进行调整。上下限调整装置可通过如下公式实现:

$$[0094] \quad u_i^p P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^p \leq u_i^p P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,L,N \quad (1)$$

$$[0095] \quad u_i^t P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i}^t \leq u_i^t P_{g,i}^{\max}, \quad i=1,2,L,N \quad (2)$$

[0096] 其中, $P_{g,i}^{\min}$ 和 $P_{g,i}^{\max}$ 分别表示机组 i 出力的上下限, i 为 $1,2,\dots,N$, N 为当前电网系统内的机组台数; u_i^p 、 u_i^t 分别为机组 i 在负荷功率的高峰和低谷时的启停状态, u_i^p 、 u_i^t 的取值由如下公式进行约束:

$$[0097] \quad u_i^p, u_i^t \in \{0,1\}, \quad i=1,2,L,N \quad (3)。$$

[0098] 即 u_i^p 、 u_i^t 取值为 0 时,代表机组 i 为停止状态,当 u_i^p 、 u_i^t 取值为 1 时,代表机组 i 为开启状态。

[0099] 备用约束调整装置 500,用于根据电网上调和下调的备用约束对机组的出力进行调整。备用约束调整装置可通过如下公式实现:

$$[0100] \quad \sum_{i=1}^N (u_i^p P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^p) \geq \alpha L^p \quad (4)$$

$$[0101] \quad \sum_{i=1}^N (P_{g,i}^p - u_i^t P_{g,i}^{\min}) \geq \beta L^t \quad (5)$$

[0102] 其中, α 、 β 分别为上调和下调备用系数。

[0103] 风电消纳能力确定装置 600, 用于根据采集的负荷功率、调整后机组的出力、所述的区外来电功率确定电网风电消纳能力。风电消纳能力确定装置可通过如下公式实现:

$$[0104] \quad \sum_{i=1}^N P_{g,i}^p + A^p + W^p = L^p \quad (6)$$

$$[0105] \quad \sum_{i=1}^N P_{g,i}^t + A^t + W^t = L^t \quad (7)$$

[0106] 其中, 上标 p、t 分别为负荷功率的高峰和低谷, $P_{g,i}$ 为机组 i 的出力, A 为区外来电功率, W 为风电出力, L 为负荷功率, N 为当前电网系统内的机组台数。

[0107] 图 6 是本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的实施方式二的结构框图, 由图 6 可知, 除了上述装置之外, 该系统还包括:

[0108] 爬坡能力调整装置 700, 用于根据机组爬坡能力对机组的出力进行调整。爬坡能力调整装置通过如下公式实现:

$$[0109] \quad \eta^u W^p + \varepsilon^d L^p \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^d P_{g,i}^p \quad (8)$$

$$[0110] \quad \eta^d W^t + \varepsilon^u L^t \leq \sum_{i=1}^N \tau_{g,i}^u P_{g,i}^t \quad (9)$$

[0111] 其中, η^d 、 η^u 分别为风电出力减小和增大的变化率, ε^d 、 ε^u 分别为负荷功率减小和增大的变化率, $\tau_{g,i}^d$ 、 $\tau_{g,i}^u$ 分别为机组 i 的下调和上调速率 (在供热期, 可不考虑供热机组的爬坡能力)。

[0112] 该步骤主要针对电网系统的机组出力跟踪风电出力和负荷功率变化的能力, 公式 (8)、(9) 分别表示在高峰负荷水平机组下调能力和低谷符合水平机组上调能力约束。

[0113] 对公式 (8), 其右侧项表示所有机组向下的爬坡能力之和; 左侧第一项表示风电在负荷高峰时段的变化率 (风电出力增大), 第二项表示负荷在其高峰时段的变化率 (负荷减小)。

[0114] 对公式 (9), 其右侧项表示所有机组向上的爬坡能力之和; 左侧第一项表示风电在负荷低谷时段的变化率 (风电出力减小), 第二项表示负荷在其低谷时段的变化率 (负荷增大)。

[0115] 图 7 是本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的实施方式三的结构框图, 由图 7 可知, 除了上述装置之外, 该系统还包括:

[0116] 开机平衡调整装置 800, 用于根据大小机组开机平衡对机组的出力进行调整。开机平衡调整装置可通过如下公式实现:

$$[0117] \quad \sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^p P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^p \quad (10)$$

$$[0118] \quad \sum_{i=1}^{M_1} \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} - \sum_{i=M_1+1}^M \frac{u_i^t P_{g,i}^{\max}}{P_{g,i}^{\max}} \leq \gamma^t \quad (11)$$

[0119] 一般而言,煤电大机组的出力调节范围和小机组相比,更宽,因而为接纳更多的风电,大机组在开机机会上具有优势。若考虑发电机组出力的电量平衡,可增加对大小机组开机比例的约束。设当前电力系统共有 N 台机组,有 M 台煤电机组,其中大机组 M_1 台,编号为 1 至 M_1 ;小机组为 $M-M_1$ 台,编号为 M_1+1 至 M。上述公式中, γ^p 、 γ^t 分别为负荷高峰时和负荷低谷时的所有大机组与小机组开机比例系数之差,可根据电力系统的情况设定,设定的值越限接近于 0,则大小机组的开机平衡性越好。

[0120] 当所述的电网系统在供热期且开停机状态不变时,该方法还包括:按照如下公式对机组的处理进行调整:

$$[0121] \quad u_j^p = u_j^t, \quad j \in \Omega^0 \quad (12)$$

[0122] 其中, Ω^0 为热电机组集合;

[0123] 当所述的电网系统在供热期且其出力不可调整,按照如下公式对机组的出力进行调整:

$$[0124] \quad P_{g,j}^p = P_{g,j}^t = P_{g,j}^{set}, \quad j \in \Omega^1 \quad (13)$$

[0125] 其中, $P_{g,j}^{set}$ 为第 j 台热电机组的设定出力, Ω^1 为出力不可调的热电机组集合。

[0126] 当所述的电网系统在供热期且供热机组必须开机时,该方法还包括:对于在供热期必须开机的供热机组 i,将 u_i^p 和 u_i^t 设置为 1,其发电出力范围可根据机组的实际情况设为定值或一个较小的区间。

[0127] 图 8 是本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统的实施方式四的结构框图,由图 8 可知,除了上述装置之外,该系统还包括:

[0128] 机组启停调整装置 900,用于针对电力系统的不同情况,如果不考虑同一台机组启停状态的变化,即要求在负荷高峰和负荷低谷时段,同一台机组的启停方式相同,则

$$[0129] \quad u_i^p = u_i^t, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

[0130] 针对电力系统的不同情况,如果考虑同一台机组的启停状态变化,但最多启停机组数为 K 时,按照如下公式对机组出力进行调整:

$$[0131] \quad \sum_{i=1}^N |u_i^p - u_i^t| \leq K \quad (14)$$

[0132] 中, K 为预设的启停机组数的最大值。

[0133] 下面结合具体的实施例,详细介绍本发明实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定系统。以采集到的京津唐电网 2010 年负荷和装机数据为例,对上述方法进行测试并同已有方法进行比较。

[0134] S1:采集电网系统一定时间内的机组数据。该实施例中采集的机组数据主要包括:

[0135] (i) 新建的单机容量为 600MW 及以上的机组,调峰能力为 60%,新建的 300MW 及以上的机组,调峰能力为 50%,投产时间较早的 300MW ~ 600MW 机组的调峰能力为 50%,单机容量为 300MW 以下机组的调峰能力为 30%,地方的小机组调峰能力为 10%。

[0136] (ii) 热电机组在供热期的出力受阻为 20% (出力受阻表示因为机组需要供热,发电不能满出力,最大只能发出 80%的额定功率),调峰能力为 5%,非供热期的调峰能力为 45%。

[0137] (iii) 燃气机组,在供热期的出力受阻为 20%,调峰能力为 5%,非供热期的调峰能力为 20%。

[0138] (iv) 水电厂和抽蓄机组参与调峰。

[0139] (v) 地方小机组及自备电厂参与功率平衡。

[0140] S2:采集电网系统一定时间内的区外来电功率。区外来电,诸如区内省间西电东送、特高压交流、区外直流等,按照目前西电东送实际运行送电协议,均设置负荷高峰期按 100%容量送电,负荷低谷期按 50%容量送电。

[0141] S3:采集电网系统一定时间内的负荷功率。在本实施例中,采集的负荷功率为电网系统在三种典型日的峰谷差,如下表所示,按月度统计日负荷的峰谷差:

[0142] 表 1

[0143]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日最大峰谷差统计结果												
最大峰谷差	1038.2	916.1	937.7	893.6	961.2	1186.6	1422.5	3446.6	1190.6	1110.9	1091.2	1131.3
所在天	5	33	75	103	147	180	208	241	257	300	313	348
最大峰谷差日峰荷	3821.9	3546.4	3661.6	3554.9	3552.7	3847	4493.9	3756.6	3766.9	3558.1	3629.1	4066.7
最大峰谷差日谷荷	2783.7	2630.3	2723.9	2661.3	2591.5	2660.4	3071.4	3100	2576.3	2447.2	2537.9	2935.4
日最小负荷统计结果												
最小负荷	2676.1	2212.2	2552.9	2548.7	2370	2488	2529.4	2582.6	2229.6	2136.7	2316.1	2869.8
最小负荷所在天	31	49	61	117	123	170	202	235	267	277	306	341
最小负荷日峰荷	3371.1	2808.6	3407.3	3431.7	3139.3	3427.7	3738.4	3432.8	3108.6	2890	3348.7	3935.9
最小负荷日峰谷差	695	596.4	854.4	883	769.3	939.7	1209	850.2	879	753.3	1032.6	1066.1
日最小负荷率统计结果												
最小负荷率	72.84	74.17	74.39	74.27	72.33	69.16	67.66	68.89	68.39	67.76	69.16	72.18
负荷率最小日	5	33	75	117	145	180	202	229	257	292	306	348
最小负荷率日峰荷	3821.9	3546.4	3661.6	3431.7	3446.3	3847	3738.4	4185.1	3766.9	3366.9	3348.7	4066.7
最小负荷率日谷荷	2783.7	2630.3	2723.9	2548.7	2492.8	2660.4	2529.4	2883.3	2576.3	2281.5	2316.1	2935.4
对应峰谷差	1038.2	916.1	937.7	883	953.5	1186.6	1209	1301.8	1190.6	1085.4	1032.6	1131.3

[0144] 此外,本实施例中:

[0145] (i)、不考虑机组的启停,即机组同日内的启停状态不变,即所有 $u_i^p = u_i^t$;

[0146] (ii)、本实施例种考虑最严重情况,负荷高峰时刻风电出力为 0,即 $w^p = 0$;

[0147] (iii)、取上调备用率为 5%,下调备用率为 0%;

[0148] (iv)、本实施例中不考虑大小机组的开机平衡;

[0149] (v)、不考虑机组的爬坡约束。

[0150] 上述采集的数据以及根据在日最大负荷峰谷差、最小负荷、最小负荷率三种统计方式下,采用本发明提出的一种电网风电消纳能力的确定方法,可得出 2010 年京津唐电网各月电网风电消纳能 W_t 如表 2 所示。

[0151] 表 2

[0152]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
最大峰谷差	497.2	464.9	508.5	1124.9	1056.5	955.5	992.7	1447.3	917.6	908.9	337.9	537.9
最小负荷	587.1	364.2	447.9	1082.0	1063.0	1023.5	887.2	1115.3	939.1	957.4	235.7	533.3
最小负荷率	497.2	464.9	508.5	1082.0	1017.6	955.5	887.2	983.1	917.6	850.6	235.7	537.9
最小值	497.2	364.2	447.9	1082.0	1017.6	955.5	887.2	983.1	917.6	850.6	235.7	533.3

[0153] 由表 2 可知,调峰能力的最小值出现在 11 月份,其次是 2 月份。根据日负荷最大峰谷差确定调峰能力,得到的结果比较乐观,而调峰能力的最小值一般出现在最小负荷日或最小负荷率日。

[0154] 根据上述采集的数据,通过背景技术中提及的第 33 卷第 18 期的《电网技术》中发表的《京津唐电网风力发电并网调峰特性分析》中的方法,针对日最大负荷峰谷差,得到的结果如表 3 所示。

[0155] 表 3

[0156]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
最大峰谷差	405.6	379.5	419.8	1096.5	1027.7	960.7	1072.8	1442.0	913.6	880.9	248.9	444.2
最小负荷率	405.6	379.5	419.8	1040.8	978.2	960.7	879.8	1027.4	913.6	803.6	156.6	444.2

[0157] 通过对比表 2、表 3 可知,与本发明中提及的方法相比,可以看出:表 3 的方法得到的调峰能力与本发明中的方法相比,所得到的结果小偏小(11 月);在 7 月份,由于没有考虑具体的开停机,得到的结果偏大,采用日最大峰谷差确定的调峰能力不精确。

[0158] 因此,本方法实施例提供的一种电网风电消纳能力的确定方法以及系统,提出了电网接纳风电调峰能力的混合整数规划模型,该模型考虑在高峰和低谷两个负荷水平下系统的功率平衡和每台机组的开停机状态及出力范围,所建立的模型以每台机组的状态为优化变量,适应性强,具有以下特点:

[0159] (1)、研究的时间区间可以为日、周、月、季或年;

[0160] (2)、考虑机组在研究时间区间内的启停限制;

[0161] (3)、考虑不同容量和类型机组的开机平衡限制;

[0162] (4)、易于区别考虑供热机组在供热期和非供热期的不同出力特性;

[0163] (6)、考虑电网传输能力约束对调峰能力的影响。

[0164] 通过上述的实施例,可见本发明具有以下优点:

[0165] (1)、由于具体到每一台机组的状态,计算结果更为细致、可信;

[0166] (2)、通过设置不同计算参数和考虑不同的约束,可得到不同电网运行要求下的调

峰能力；

[0167] (3)、在相同的负荷峰谷水平下,所得到的调峰能力比已有方法大,体现了优化开停机方案对提高调峰能力的作用。

[0168] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

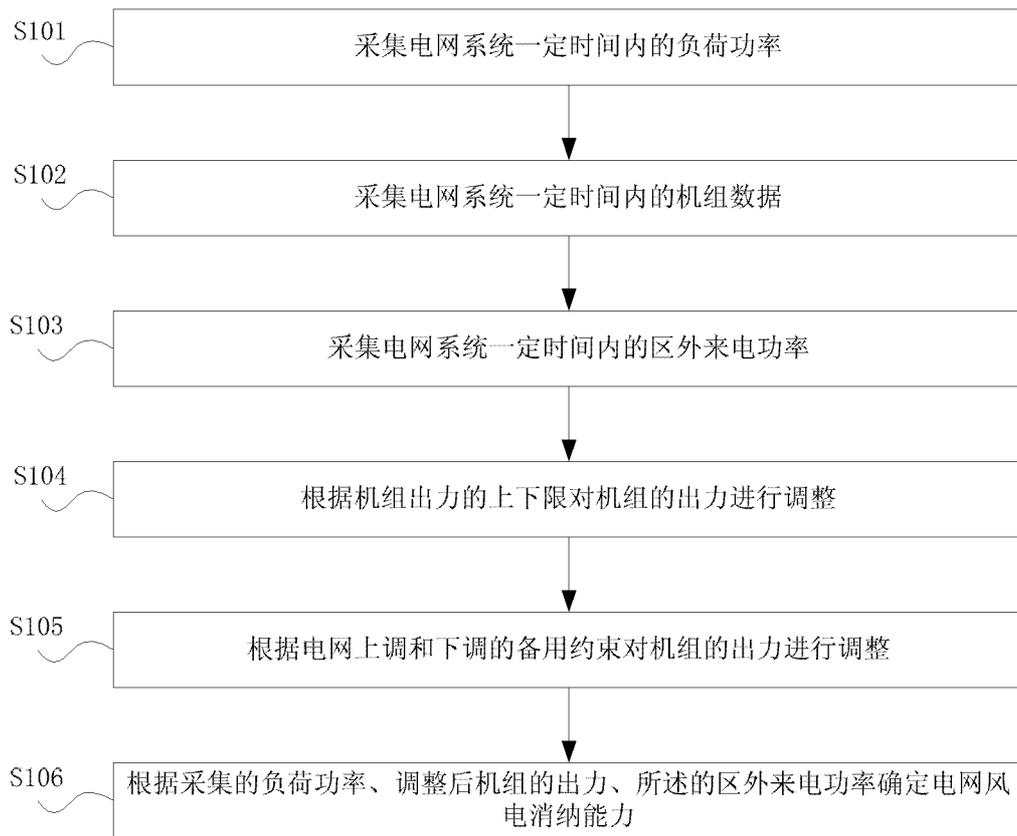


图 1

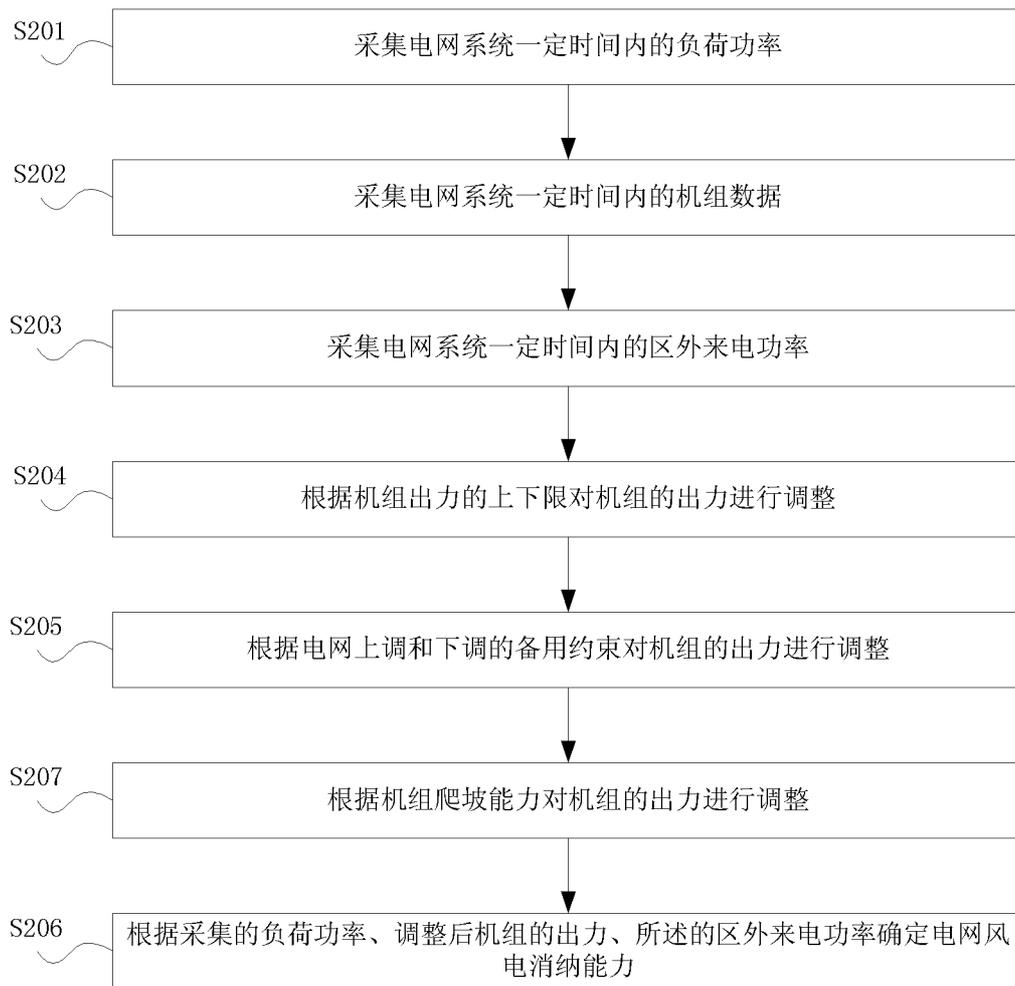


图 2



图 3



图 4

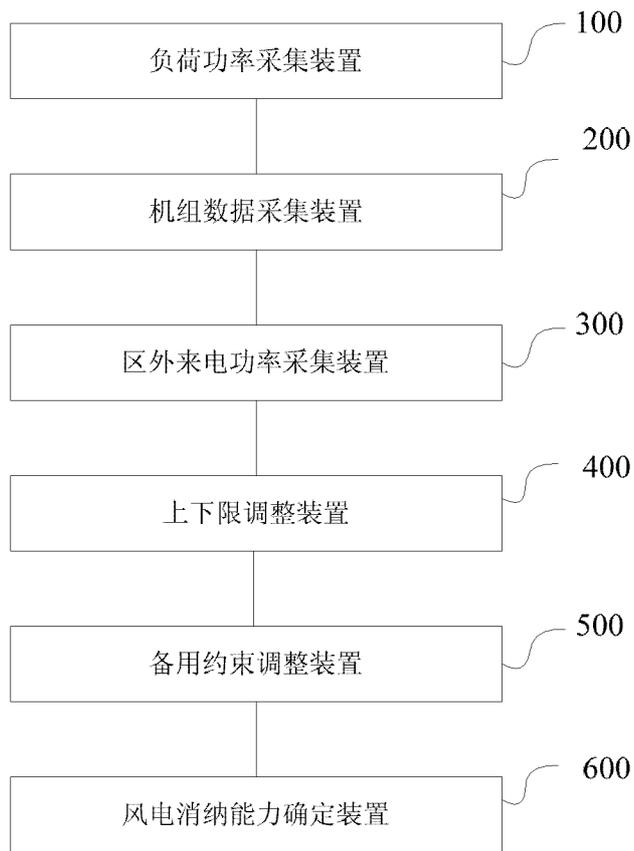


图 5

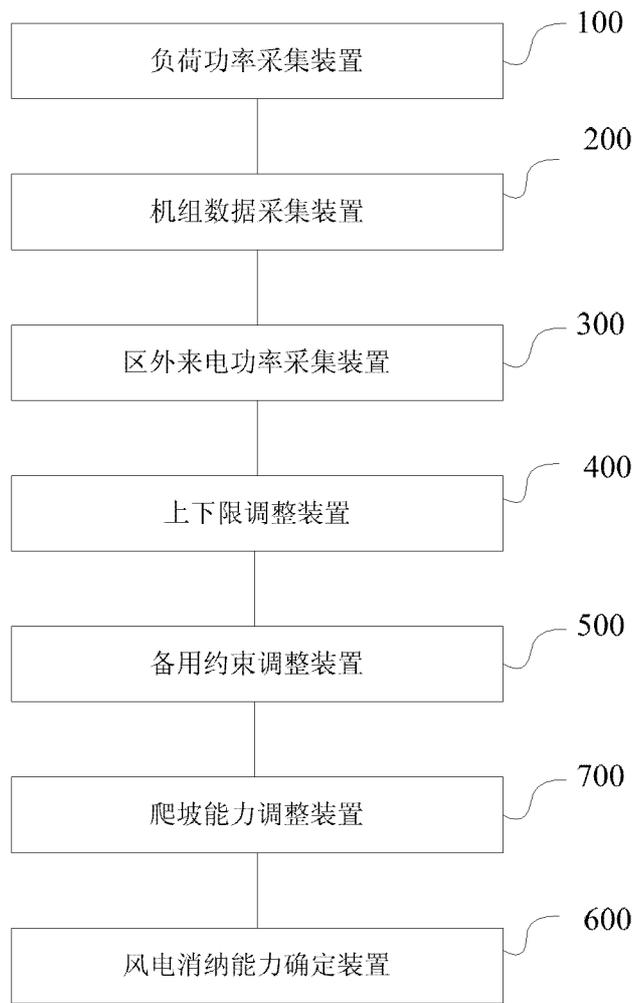


图 6

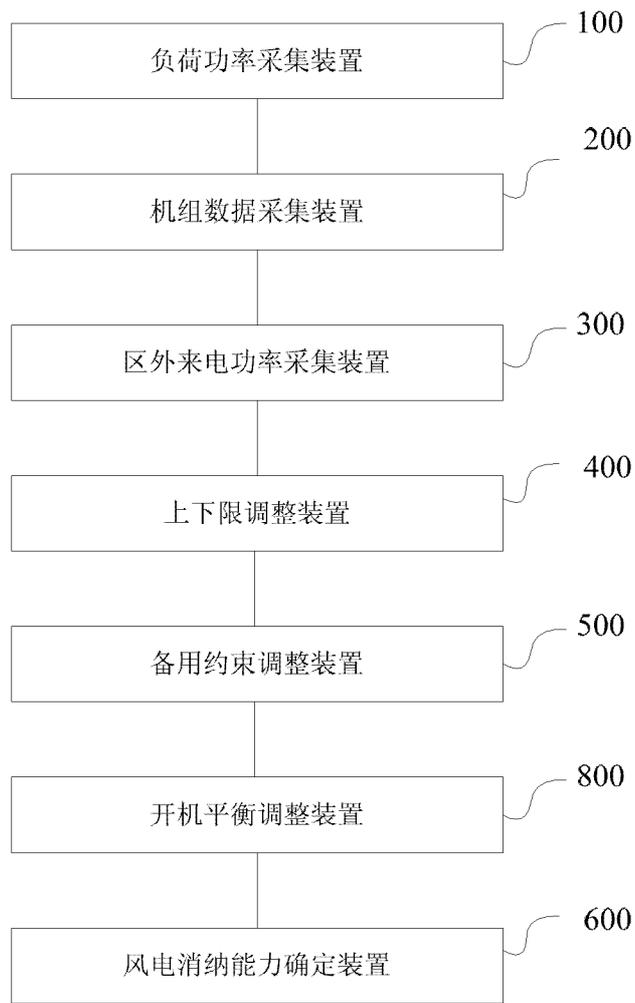


图 7

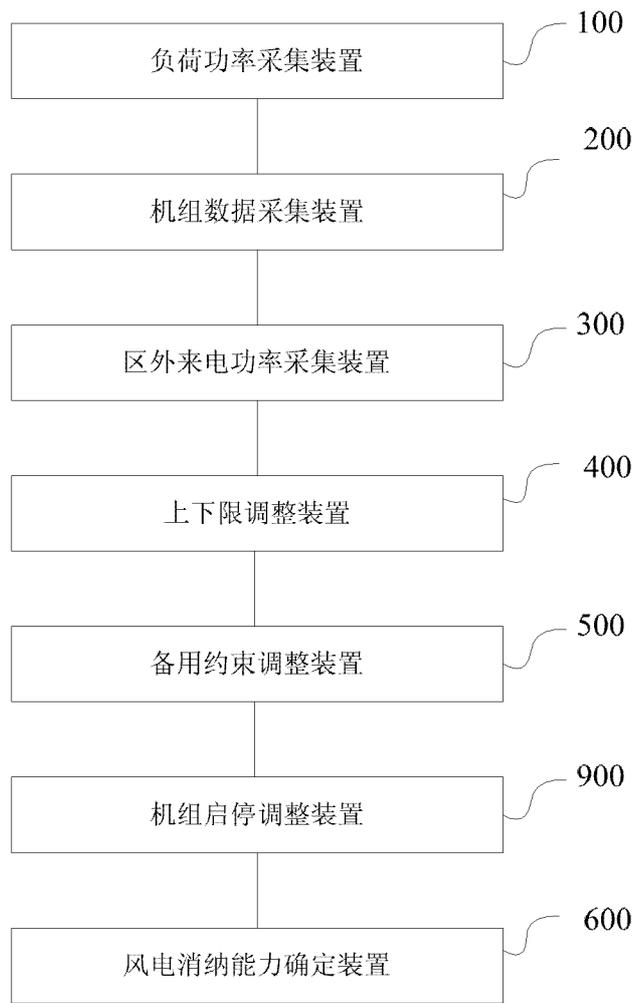


图 8