(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103746406 A
(43)申请公布日 2014.04.23

(21)申请号 201310724265.1

(22)申请日 2013.12.24

(71)申请人 广东电网公司电力调度控制中心
地址 510699 广东省广州市越秀区梅花路75号
申请人 河海大学

(72)发明人 王宁 刘皓明 宁健 吴健超 侯云鹤

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司 44224
代理人 王茹 曾旻辉

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

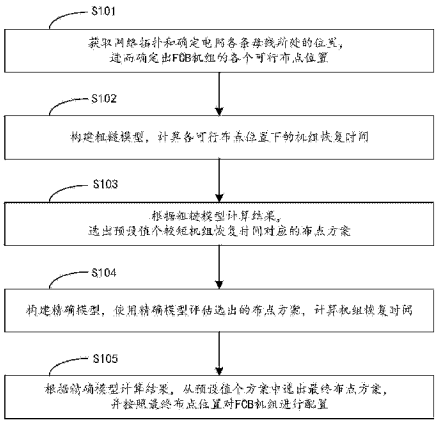
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

快速切负荷火电机组的配置方法

(57)摘要

本发明公开了一种快速切负荷火电机组的配置方法，包括：确定FCB机组的各种可行布点位置；根据序优化理论，使用粗糙模型计算在各种可行布点位置下的机组恢复时间；选取出预设值个较短恢复时间对应的可行布点位置；使用精确模型分别计算选出的可行布点位置下的机组恢复时间；根据精确模型计算结果选取出最终布点位置，并按照最终布点位置对FCB机组进行配置。本发明选出的布点位置能够在满足工程实际的需要的同时节省大量计算时间，大大提高了计算效率。本发明的FCB机组的优化选址，可以通过减少的系统恢复时间以及增加的发电能力进行量化，具有重要的工程应用价值。



CN 103746406 A

1. 一种快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，包括以下步骤：

获取电网拓扑结构和电网中各条系统母线所处的位置，进而确定出 FCB 机组布点的各种可行布点位置；

构建序优化粗糙模型，根据所述序优化粗糙模型分别计算在各种可行布点位置下的机组恢复时间；

根据所述序优化粗糙模型计算的机组恢复时间，在各种可行布点位置中选取出预设值个较短机组恢复时间对应的可行布点位置；

构建序优化精确模型，根据所述序优化精确模型分别计算在选出的可行布点位置下的机组恢复时间；

根据所述序优化精确模型计算的机组恢复时间，从预设值个方案中选取出最终布点方案，并按照所述最终布点位置对 FCB 机组进行配置。

2. 根据权利要求 1 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，所述构建序优化粗糙模型，根据所述序优化粗糙模型分别计算在各种可行布点位置下的机组恢复时间的步骤，包括以下步骤：

步骤一：对每台待启动的机组建立恢复指标；

步骤二：在当前时刻下，根据机组启动时间约束、机组恢复路径充电时间约束和机组启动功率约束剔除不符合启动条件的机组；

步骤三：计算电网中已启动的机组的对外输出功率，最大化利用功率，在其范围内使剩余的机组按照所述恢复指标从小到大的顺序依次启动；

步骤四：更新机组的状态，按照步骤一至步骤三选出下一时刻的可启动机组；从选出的机组中筛选出符合启动条件的机组，直至各个机组均已启动，并计算机组恢复时间。

3. 根据权利要求 2 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，所述对每台待启动的机组建立恢复指标的步骤，包括以下步骤：

对每台待启动的机组建立如下恢复指标：

$$X = \frac{L}{P}$$

其中，L 为各待启动的机组到黑启动机组的最短路径，通过 Dijkstra 算法得到；P 为待启动的机组的额定功率值。

4. 根据权利要求 2 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，所述计算电网中已启动的机组的对外输出功率的步骤，包括以下步骤：

建立机组恢复稳态模型；

根据所述机组恢复稳态模型，计算电网中已启动的机组的对外输出功率。

5. 根据权利要求 1 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，在所述根据所述序优化粗糙模型计算的机组恢复时间，在各种可行布点位置中选取出预设值个较短机组恢复时间对应的可行布点位置的步骤，包括以下步骤：

根据粗糙模型计算结果，对计算的所述机组恢复时间从小到大进行排序；

选出前预设值个恢复时间所对应的布点方案。

6. 根据权利要求 1 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，所述构建序

优化精确模型，根据所述序优化精确模型分别计算在所述预设值个可行布点位置下的机组恢复时间的步骤，包括以下步骤：

步骤一：更新已恢复的系统，确定带电母线；

步骤二：根据机组恢复稳态模型计算当前时刻的系统出力；

步骤三：由 Dijkstra 算法求取待启动的机组到已恢复系统的最短路径；

步骤四：分别根据机组启动时间约束、机组恢复路径充电时间约束和机组启动功率约束选择当前时刻能启动的机组；

步骤五：在保证机组启动的前提下，使用剩余出力恢复机组启动路径上的负荷；

步骤六：更新机组的状态，更新电网中已经恢复的系统，按照步骤一至步骤五计算下一时刻的未启动机组，直至各个机组均已启动，并计算机组恢复时间。

7. 根据权利要求 6 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，在所述使用剩余出力恢复机组启动路径上的负荷的步骤中，负荷的最大恢复量不超过使系统频率下降的最大限值。

8. 根据权利要求 1 所述的快速切负荷火电机组的配置方法，其特征在于，在所述在各种可行布点位置中选取出机组恢复时间较短的预设值个可行布点位置的步骤中，所述预设值大小根据序优化理论确定。

快速切负荷火电机组的配置方法

技术领域

[0001] 本发明涉及火电机组布点技术领域，尤其涉及一种快速切负荷火电机组的配置方法。

背景技术

[0002] 电网因故障发生大停电，当故障消除之后，通常由系统中的水电机组提供启动电源。在缺乏水电机组的电网，可通过对常规机组进行改造，使其具备 FCB（Fast Cut Back，快速切负荷)功能。具备 FCB 功能的机组在外部电网发生故障时与电网解列，瞬间甩掉全部对外供电负荷，并保持锅炉在最低负荷运行，维持带厂用电运行的能力。电网故障恢复后，FCB 机组能快速恢复对外供电。在电网中配置 FCB 机组，有利于电网故障消除后的快速恢复，而在电网不同的位置安装 FCB 机组，系统的恢复效果也会有所差异。因此，合适的 FCB 机组安装位置会将带来更快的恢复过程，寻找高效的 FCB 机组布点方法具有重要意义。

[0003] FCB 机组的优化选址而带来的优势，可以量化为减少的系统恢复时间以及增加的发电能力。对于具备一定规模的系统，若考虑布置若干台 FCB 机组，机组的布点选择具有大量可行位置。由于系统的恢复涉及到机组恢复，网架重构以及负荷恢复等一系列问题，若对每一种可行位置均进行计算和判断，计算量巨大，造成大量时间的耗费，也极为消耗资源。

发明内容

[0004] 基于此，本发明提供了一种快速切负荷火电机组的配置方法。

[0005] 一种快速切负荷火电机组的配置方法，包括以下步骤：

[0006] 获取电网拓扑结构和电网中各条系统母线所处的位置，进而确定出 FCB 机组布点的各种可行布点位置；

[0007] 构建序优化粗糙模型，根据所述序优化粗糙模型分别计算在各种可行布点位置下的机组恢复时间；

[0008] 根据所述序优化粗糙模型计算的机组恢复时间，在各种可行布点位置中选取出预设值个较短机组恢复时间对应的可行布点位置；

[0009] 构建序优化精确模型，根据所述序优化精确模型分别计算选出的可行布点位置下的机组恢复时间；

[0010] 根据所述序优化精确模型计算机组恢复时间，根据计算结果选取出最终布点位置，并按照所述最终布点位置对 FCB 机组进行配置。

[0011] 与一般技术相比，本发明快速切负荷火电机组的配置方法将序优化方法引入 FCB 机组布点问题中，以机组恢复时间最短为目标，并且考虑到相关约束条件，确定了 FCB 机组在电网中的优化布点位置，并按照选出的布点位置对 FCB 机组进行配置。本发明选出的布点位置能够在满足工程实际的需要的同时节省大量计算时间，大大提高了计算效率。本发明的 FCB 机组的优化选址，可以通过减少系统恢复时间以及增加发电能力进行量化，具有重要的工程应用价值。

附图说明

[0012] 图 1 为本发明快速切负荷火电机组的配置方法的流程示意图；

[0013] 图 2 为本发明快速切负荷火电机组的配置方法中的粗糙计算流程示意图；

[0014] 图 3 为机组恢复模型示意图；

[0015] 图 4 为排序特性曲线图；

[0016] 图 5 为本发明快速切负荷火电机组的配置方法中的精确计算流程示意图。

具体实施方式

[0017] 为更进一步阐述本发明所采取的技术手段及取得的效果，下面结合附图及较佳实施例，对本发明的技术方案，进行清楚和完整的描述。

[0018] 请参阅图 1，为本发明快速切负荷火电机组的配置方法的流程示意图。

[0019] 本发明快速切负荷火电机组的配置方法，包括以下步骤：

[0020] S101 获取电网拓扑结构和电网中各条系统母线所处的位置，进而确定出 FCB 机组布点的各种可行布点位置；

[0021] S102 构建序优化粗糙模型，根据所述序优化粗糙模型分别计算在各种可行布点位置下的机组恢复时间；

[0022] S103 根据所述序优化粗糙模型计算的机组恢复时间，在各种可行布点位置中选取出预设值个较短机组恢复时间对应的可行布点位置；

[0023] S104 构建序优化精确模型，根据所述序优化精确模型分别计算选出的可行布点位置下的机组恢复时间；

[0024] S105 根据所述序优化精确模型计算的机组恢复时间，在所述预设值个可行布点位置中选取出最终布点位置，并按照所述最终布点位置对 FCB 机组进行配置。

[0025] 在步骤 S101 中，获取电网拓扑结构，确定系统母线所在位置，在某些母线上可布置 FCB 机组，现布置若干台 FCB 机组，实例中采用 IEEE-118 节点标准系统计算，布置两台相同容量 FCB 机组。基于序优化理论，选取 1000 种可行布点方案，能较好体现整个解空间的特点。

[0026] 在步骤 S102 中，通过粗糙模型计算每种布点位置下的机组恢复时间，对应的流程如图 2 所示，图 2 为本发明快速切负荷火电机组的配置方法中的粗糙计算流程示意图。

[0027] 系统恢复初期，电网几乎处于全黑状态，需要由具备黑启动能力的机组提供电网的初始功率。对于电网中的发电机组，其并网后的对外输出功率可描述为一条按特定速率不断增加的曲线，可参阅图 3，为机组恢复模型示意图。发电机组的出力为时间的函数。t_{st} 为机组启动时刻，P_{st} 为使普通机组启动所必须的启动功率，t_c 为从机组启动到对外输出功率的时间；P_{max}(MW) 为机组启动后，输出的最大功率；K_B(MW/min) 为机组的爬坡率。对于黑启动机组，具备自启动能力，故不需要外界提供启动功率，P_{st}=0，并且认为其启动时刻 t_{st} = 0，对于 FCB 机组，具备黑启动能力，而且该类机组在电网故障时不停机，带厂用电运行，并且在故障消除后，能迅速恢复对外供电。故认为 FCB 机组从机组启动到对外供电运行的时间 t_{st} = 0。

[0028] 电网中的某台机组，若其启动后一直增加出力直到达到额定输出，则其恢复时间

通过稳态模型可得到：

[0029] $$T=t_{st}+t_c+\frac{P_{\max}}{K_B}$$

[0030] 恢复发电机组的同时也是对应输电路径的恢复过程，涉及到对恢复路径上的线路和设备进行空充。充电通过线路上断路器的动作完成，充电总时间与路径所包含的母线数有关。为使电网尽快获得功率，应考虑让离黑启动机组较近的机组尽早启动，让功率较大的机组尽早启动。若投入的线路电气距离过长，在线路末端电压升高，可能产生过电压现象。因此由黑启动机组到待启动机组的恢复路径应尽量短。

[0031] 迪杰斯特拉(Dijkstra)算法是在黑启动研究中得到广泛应用的算法。根据网络拓扑结构，采用该算法求得机组最短恢复路径。

[0032] 非黑启动机组停机后，在一定时间范围内可进行热启动，随着汽轮机缸温下降，错过热启动时间后，只能进行冷启动。因此对非黑启动机组的启动时间需要考虑“最大临界热启动时间”以及“最小临界启动时间”约束。

[0033] 热启动机组 j 的最大临界热启动时间约束为：$0<t_{jst}\leqslant t_{jstmax}$。具有 t_{jstmax} 限制的机组若在该时间段内不启动，错过热启动条件后，只有延长数小时后进行冷启动。

[0034] 冷启动机组 j 最小临界启动时间约束为：$t_{jstmin}\leqslant t_{jst}$。具有 t_{jstmin} 限制的机组只有在该时间段后才允许做冷启动。

[0035] 采用 Dijkstra 算法求得机组最短恢复路径，作为已恢复系统到待启动机组 j 的启动路径。设充电路径起始节点 i 的充电完成时刻为 t_{ist}，充电路径 ij 的充电时间为 ti_j，则机组 j 的启动时间满足：

[0036] $t_{jst}\geqslant t_{ist}+ti_j$

[0037] 非黑启动机组需要系统对其提供必要的启动功率 P_{st} 后才可能启动。机组启动功率约束可表示为：

[0038] $$\sum P_{rst}\leq\sum_{i=1}^{m}P_{igen}(t)+\sum_{j=1}^{n}P_{jgen}(t)+\sum P_{rgen}(t)$$

[0039] 其中，不等式右边为已经启动的机组向电网提供的出力，ΣP_{rst} 为下一阶段待启动机组的启动功率。

[0040] 为使机组尽快恢复，应优先选择充电启动路径短，容量大的机组尽早启动。

[0041] 作为其中一个实施例，所述构建序优化粗糙模型，根据所述序优化粗糙模型分别计算在各种可行布点位置下的机组恢复时间的步骤，包括以下步骤：

[0042] 步骤一：对每台待启动的机组建立恢复指标；

[0043] 步骤二：在当前时刻下，根据机组启动时间约束、机组恢复路径充电时间约束和机组启动功率约束剔除不符合启动条件的机组；

[0044] 步骤三：计算电网中已启动的机组的对外输出功率，最大化利用功率，在其范围内使剩余的机组按照所述恢复指标从小到大的顺序依次启动；

[0045] 步骤四：更新机组的状态，按照步骤一至步骤三计算下一时刻的可启动机组；从选出的机组中筛选出符合启动条件的机组，直至各个机组均已启动，并计算机组恢复时间。

[0046] 参见图 2 的粗糙计算流程示意图，对每台待启动机组，建立指标 X：

[0047] $$X=\frac{L}{P}$$

[0048] L为各待启动机组到黑启动机组的最短路径，通过Dijkstra算法得到；P为被启动机组的额定功率值。优先让指标X较小的机组先启动，即优先考虑以较短的距离启动容量较大的机组；

[0049] 在当前时刻t下，根据上述约束条件剔除不符合启动条件的机组，计算电网中已经启动的机组的对外出力，最大化利用电网中的启动功率，按剩余的机组按指标从小到大顺序依次启动；

[0050] 作为其中一个实施例，所述计算电网中已启动的机组的对外输出功率的步骤，包括以下步骤：

[0051] 建立机组恢复稳态模型；

[0052] 在当前时刻t下，根据所述机组恢复稳态模型，计算电网中已启动的机组的对外输出功率。

[0053] 上述做法使得计算更加准确。

[0054] 更新机组的状态，在下一时刻筛选符合启动条件的机组，直到电网所有机组启动，并计算出机组恢复时间；

[0055] 对所有1000种布点方案进行上述计算，完成粗糙计算和评估；

[0056] 作为其中一个实施例，根据粗糙计算结果，对机组恢复时间进行排序，并在各种可行布点位置中选取出预设值个较短机组恢复时间对应的可行布点位置。

[0057] 将计算结果，即机组恢复时间从小到大排序，得到排序特性曲线(OPC)，如图4中点划线所示(若使用精确模型评估该1000种布点方案，则如图4中实线所示)。根据序优化理论，确定OPC类型，选出前S个机组恢复时间对应的布点方案，进行精确评估；

[0058] 从OPC中得到可知机组恢复时间从约190min到约260min不等。

[0059] 在步骤S103中，按照合适的选择规则，选出若干较短机组恢复时间对应的机组布点方案；该步骤目的是根据粗糙评估选出较好的布点方案。选出的布点方案称为子决策集S，子决策集大小为s，即选出s个布点方案。S将以至少α的概率包含k个足够好的布点方案：

[0060] $P\{G\cap S>k\}\geq\alpha$

[0061] G表示足够好的布点方案的集合，个数为g，表示将各个决策经精确评估后的前g个最好的解；|·|表示集合元素的个数。

[0062] 子决策集S的大小通过序优化理论提供的公式确定：

[0063] $$s=Z(k,g)=e^{Z_0}k^{\rho}g^{\gamma}+\eta$$

[0064] 式中，$g\in[20,200]$，$k\in[1,10]$，Z_0、ρ、γ、η是跟OPC类型和随机噪声特性相关的常数，e为自然对数的底数(2.71828)。

[0065] 在实例中，通过计算得到s＝45，预设值即为45，选取前45种方案进行精确计算和评估；

[0066] 在步骤S104中，使用精确模型评估选出的方案，得到使用精确模型计算出的机组恢复时间，如图5所示，为本发明快速切负荷火电机组的配置方法中的精确计算流程示意

图。

[0067] 作为其中一个实施例，所述构建序优化精确模型，根据所述序优化精确模型分别计算在所述预设值个可行布点位置下的机组恢复时间的步骤，包括以下步骤：

[0068] 步骤一：更新已恢复的系统，确定带电母线；

[0069] 步骤二：根据机组恢复稳态模型计算当前时刻的系统出力；

[0070] 步骤三：由 Dijkstra 算法求取待启动的机组到已恢复系统的最短路径；

[0071] 步骤四：分别根据机组启动时间约束、机组恢复路径充电时间约束和机组启动功率约束选择当前时刻能启动的机组；

[0072] 步骤五：在保证机组启动的前提下，使用剩余出力恢复机组启动路径上的负荷；

[0073] 步骤六：更新机组的状态，更新电网中已经恢复的系统，按照步骤一至步骤五计算下一时刻的未启动机组，直至各个机组均已启动，并计算机组恢复时间。

[0074] 在精确计算和评估中，各个时刻均需要考虑系统的恢复情况，并使用 Dijkstra 算法求取各待启动机组高压母线到已恢复带电网络的最短路径，作为该机组的恢复路径；

[0075] 计算当前时刻机组向系统总出力，根据机组启动时间约束、机组恢复路径充电时间约束、机组启动功率约束选择当前时刻能启动的机组；

[0076] 为使电网获得足够功率，以便在后续过程中启动剩余待启动机组，在满足约束条件下让容量较大的机组依次启动；

[0077] 机组在启动初期需消耗一定功率，同时为保证电网中功率的平衡，同时保持电网节点电压在合理范围之内在启动发电机组的同时，也应对送电路径上的负荷进行恢复；

[0078] 建立负荷模型。电力系统中发电机的输出是连续的，而负荷的恢复一般是离散的。故对于单个负荷 i，在系统恢复中一般是分段投入的，对于系统中的负荷，恢复阶段的数学模型可表示如下：

[0079] $$P_{Li}=\sum_{j=1}^{m}c_{ij}w_{ij}P_{ij}$$

[0080] 其中，m 表示节点 i 上负荷的开关数，wi_j 表示对应的负荷权重，p_{ij} 表示开关上的负荷量。在负荷恢复时应尽可能多的恢复重要负荷，即

[0081] $$\Delta\sum P_{Li}=\max\sum_{j=1}^{m}c_{ij}w_{ij}P_{ij}$$

[0082] 可投入的负荷量受发电机组增发的功率约束：

[0083] $\Delta\Sigma P_{Li} < \Delta\Sigma P_{G}$

[0084] 不等式左边为可投入的负荷量，右边为机组向电网增加的有功出力。

[0085] 另外，作为其中一个实施例，在所述使用剩余出力恢复机组启动路径上的负荷的步骤中，负荷的最大恢复量不超过使系统频率下降的最大限值。

[0086] 为保证电力系统的稳定运行，负荷恢复引起的频率下降值不能超过系统频率下降的最大限值，否则将可能引起低频减载，导致电力系统稳定性破坏。采取定量计算估计的方式，对于负荷一次投入的最大量，根据频率允许的上下限以及机组对频率的响应(MW/Hz)确定最大符合恢复量：

[0087] $$\Delta\sum P_{Li} < \sum \frac{dP_i}{df} \cdot \Delta f$$

[0088] 不等式右边为防止频率过低而允许投入的最大负荷量。Δf 取为 0.5Hz。

[0089] 更新机组的状态，更新电网中已经恢复的系统，在下一时刻继续重新计算，直到电网所有机组启动，计算出机组恢复时间；

[0090] 对选出的预设值 45 种布点方案进行上述计算，完成精确计算和评估。

[0091] 在精确计算流程中，每次计算循环中需多次使用 Dijkstra 算法搜索待启动机组到上一时间已恢复系统的最短充电路径，进行路径寻优，然后再进行容量寻优选取容量大的机组先启动，故每次计算将花费大量时间。而在粗糙模型中，只需事先调用一次 Dijkstra 算法，用以计算各待启动机组到电网中的黑启动机组的最短路径，并建立指标 X。指标 X 的排序代替了对路径和容量的寻优，然后在各个时刻，根据约束条件剔除不符合条件的机组，节约了大量计算时间。在粗糙模型中也省去了对机组启动路径上负荷恢复情况的评估。

[0092] 实例中选择布点方案时，根据算例已有数据，当选取的位置上存在发电机组时，将该发电机当作 FCB 机组计算，视为对该发电机进行 FCB 改造；否则，为保持各个方案下发电机总数一致，分别将算例中的 G10(300MW)、G44(300MW) 布置在该位置。

[0093] 在步骤 S105 中，选择若干较短恢复时间对应的布点方案，作为最终确定的机组布点方案。选择最终布点方案。由本发明得出的较好的 FCB 机组布点方案为：在母线 38 和 95、38 和 92、38 和 94 布置相应容量的 FCB 机组。

[0094] 为展示本发明的有效性，也另外对 1000 种布点方案按照标准流程进行计算(其排序特性曲线如图 4 中实线所示)，结果如下(排序内容为机组恢复时间从小到大排序，对应的两台 FCB 机组所在位置，用其所在节点编号表示；列出前二十个解)：

[0095] 实例中的排序结果比较如下：

[0096]

精确计算排序	[38,95] [38,92] [38,94] [38,96] [30,104] [37,93] [30,93] [38,104] [37,102] [11,69] [17,69] [10,80] [64,101] [68,96] [64,102] [66,104] [16,80] [68,108] [32,65] [61,65]
粗糙计算排序	[38,95] [38,92] [38,94] [38,96] [64,101] [68,96] [64,102] [66,82] [68,88] [30,93] [37,93] [64,82] [30,104] [66,77] [64,94] [38,104] [64,102] [66,98] [64,101] [68,108]

[0097] 可见使用精确模型得到的较好的布点方案，其在粗糙评估序列中的位置也是靠前的。只要抽取数量足够多的样本作为子决策集，便能保证子决策集 S 以至少足够高的概率包含若干足够好的解。

[0098] 所用计算时间如下：

[0099]

基于序优化理论求解	粗糙评估 1000 个解	0.63h (约 38min)	约 80min
	对子决策集 45 个解精确评估	0.68h (约 40min)	
一般解法	用标准流程评估 1000 个解	15.01h (约 900min)	约 900min

[0100] 可见本发明能节省大量时间，提高评估效率。

[0101] 与一般技术相比，本发明快速切负荷火电机组的配置方法将序优化方法引入 FCB 机组布点问题中，以机组恢复时间（系统恢复时间）最短为目标，并且可以考虑到约束条件，确定了 FCB 机组在电网中的优化布点位置，并按照选出的布点位置对 FCB 机组进行配置。本发明选出的布点位置能够在满足工程实际的需要的同时节省大量计算时间，大大提高了计算效率。本发明的 FCB 机组的优化选址，可以通过减少系统恢复时间以及增加发电能力进行量化，具有重要的工程应用价值。

[0102] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

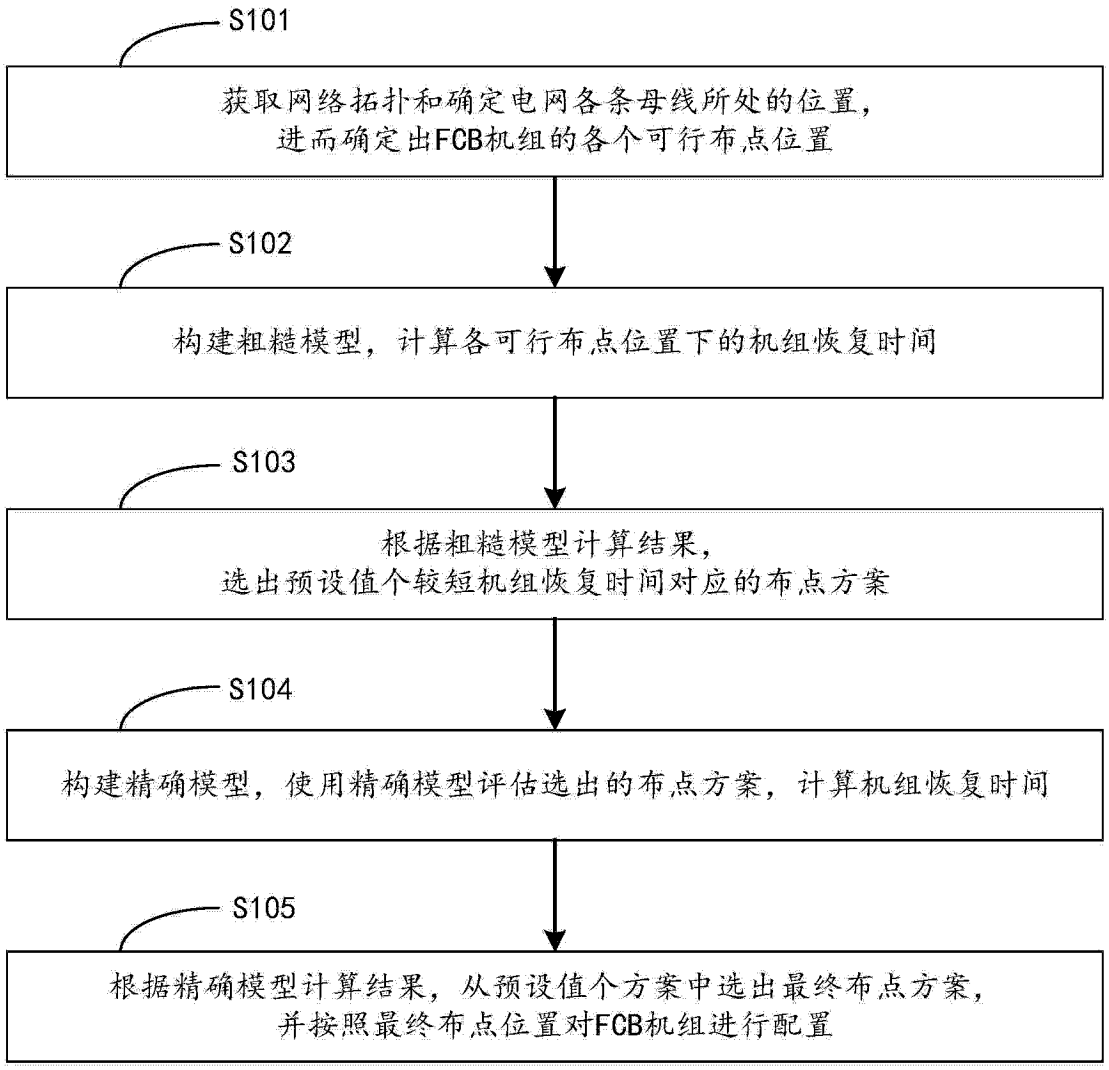

S101
获取网络拓扑和确定电网各条母线所处的位置，
进而确定出FCB机组的各个可行布点位置
S102
构建粗糙模型，计算各可行布点位置下的机组恢复时间
S103
根据粗糙模型计算结果，
选出预设值个较短机组恢复时间对应的布点方案
S104
构建精确模型，使用精确模型评估选出的布点方案，计算机组恢复时间
S105
根据精确模型计算结果，从预设值个方案中选出最终布点方案，
并按照最终布点位置对FCB机组进行配置

图 1

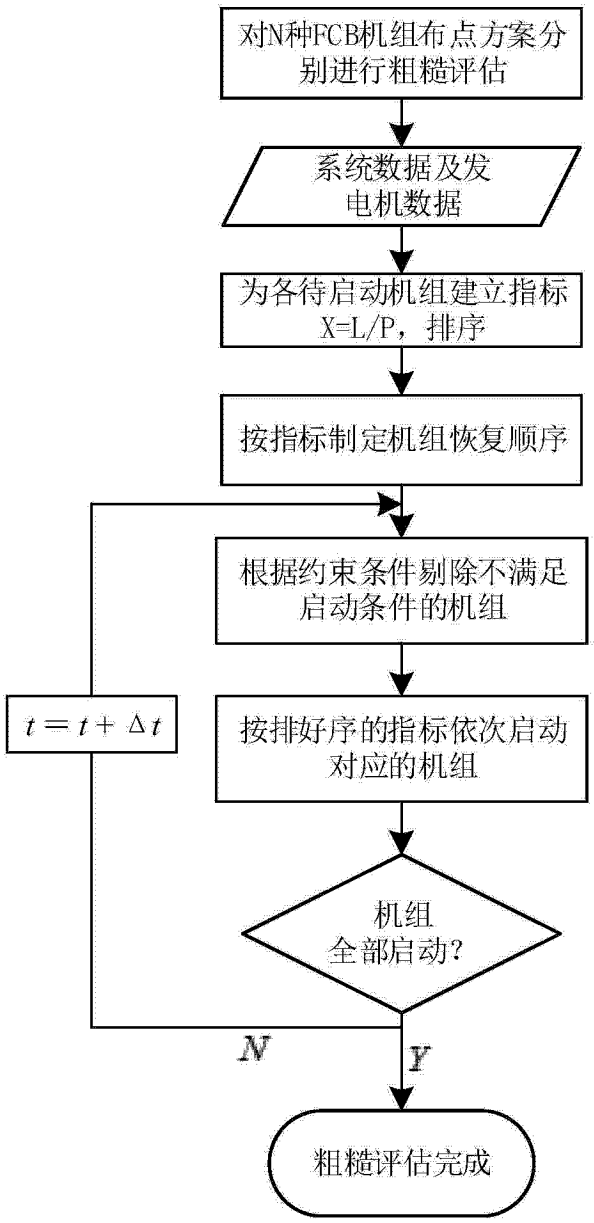

对N种FCB机组布点方案分别进行粗糙评估
系统数据及发电机数据
为各待启动机组建立指标X=L/P，排序
按指标制定机组恢复顺序
根据约束条件剔除不满足启动条件的机组
$t = t + \Delta t$
按排好序的指标依次启动对应的机组
机组全部启动?
N
Y
粗糙评估完成

图 2

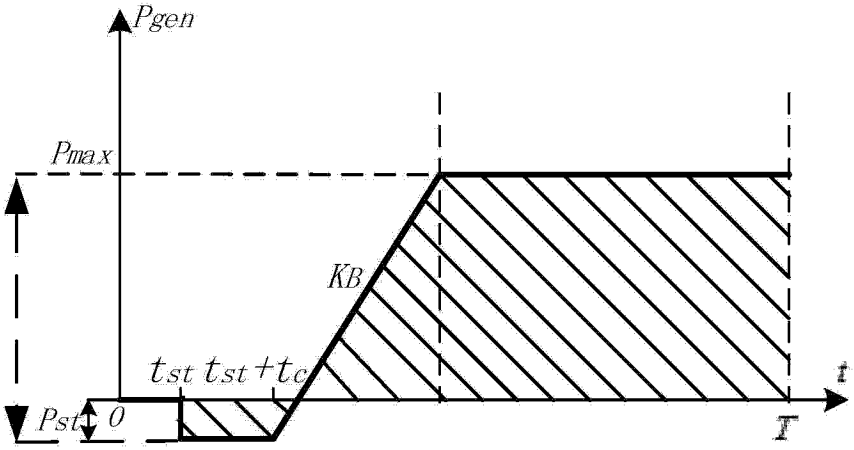

Pgen
Pmax
KB
tst tst+tc
t
Pst 0
T

图 3

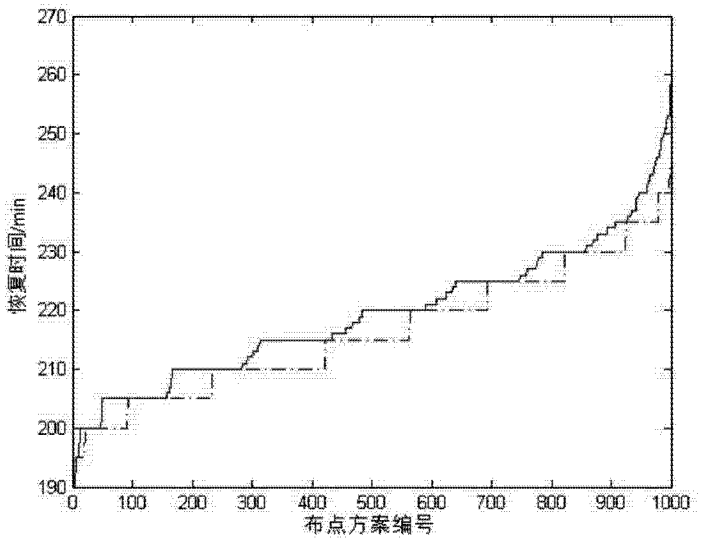

恢复时间/min
布点方案编号
270
260
250
240
230
220
210
200
190
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

图 4

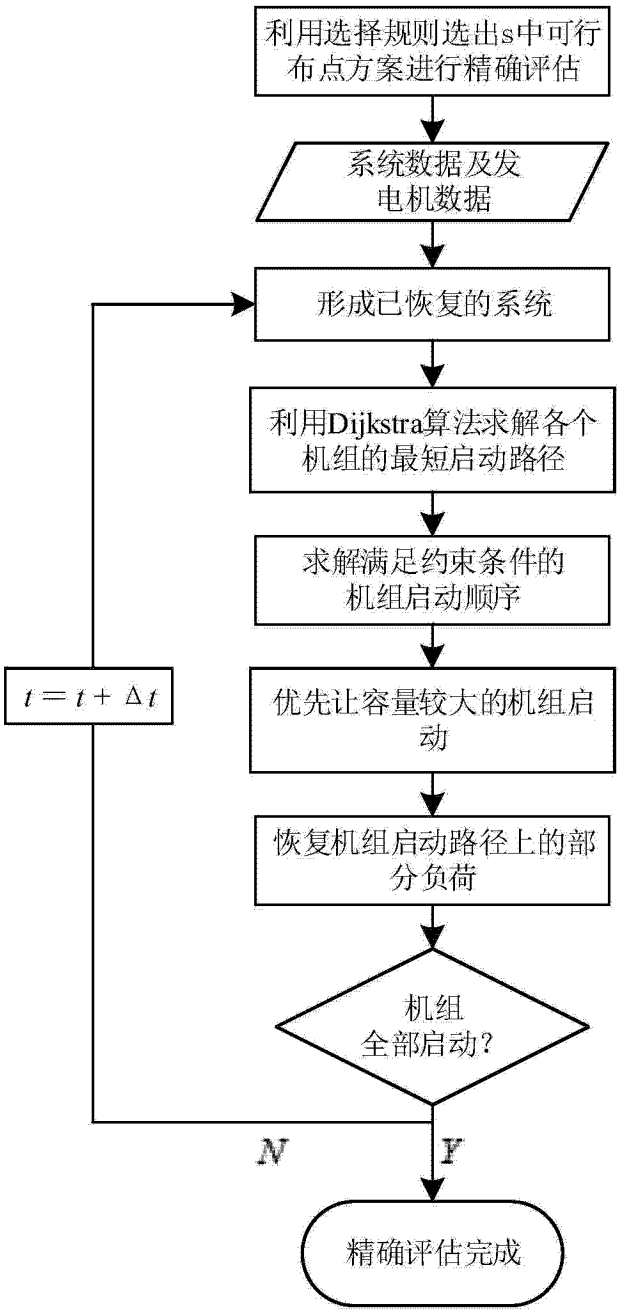

利用选择规则选出s中可行布点方案进行精确评估
系统数据及发电机数据
形成已恢复的系统
利用Dijkstra算法求解各个机组的最短启动路径
求解满足约束条件的机组启动顺序
优先让容量较大的机组启动
恢复机组启动路径上的部分负荷
机组全部启动?
N
Y
精确评估完成
$t = t + \Delta t$

图 5