(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101594002 B
(45)授权公告日 2010.12.29

(21)申请号 200910032589.2

(22)申请日 2009.07.03

(73)专利权人 河海大学
地址 210098 江苏省南京市西康路1号

(72)发明人 陈星莺 余昆 刘皓明 但唐军 王平 王冰 廖迎晨 袁晓玲

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200
代理人 叶连生

(51)Int.Cl.
H02J 13/00(2006.01)
H02J 3/00(2006.01)
H02J 3/26(2006.01)
H02J 3/18(2006.01)

(56)对比文件
EP 0476618 A2,1992.03.25, 全文.
CN 101436780 A,2009.05.20, 全文.
US 7388364 B2,2008.06.17, 全文.
顾欣欣等. 浅论建立高可靠城市电网. 《供用电》.2008, 第25卷(第4期),4-7.

审查员 吴伟

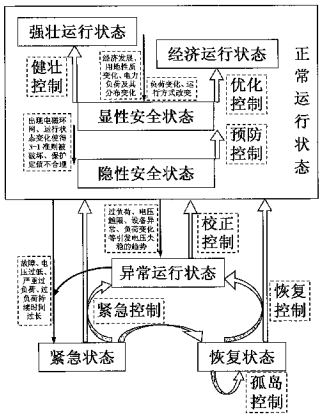
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 7 页

(54)发明名称

城市电网运行的自愈控制方法

(57)摘要

城市电网运行的自愈控制方法是一种用于运行的城市电网中,采用基于自愈控制技术的城市电网一体化协调控制模式,信号的处理和控制策略的产生具有自适应性,无需外界干预自动完成控制过程,协调继电保护装置、开关、安全自动装置、自动调节装置的动作行为,对继电保护、开关、安全自动装置、各种自动调节装置及其参数进行协调控制,从而实现城市电网的稳定、安全、可靠、经济运行的技术方案,属于电力系统理论、控制理论和人工智能的交叉技术应用领域。



CN 101594002 B

1. 一种城市电网运行的自愈控制方法，其特征在于采用基于自愈控制技术的城市电网一体化协调控制模式，信号的处理和控制策略的产生具有自适应性，无需外界干预自动完成控制过程，协调继电保护装置、开关、安全自动装置、自动调节装置的动作行为，具体步骤如下：

1) 首先，电压电流互感器分别将城市电网各处的电压、电流信号变换为弱电信号，传感器将开关的动作特性、触头温度变换为弱电信号，继电保护装置接收到变换后的电压、电流信号后与当前保护定值区的定值进行比较，大于动作启动值时触发继电器将开关跳开以切除故障，备用电源自投装置接收到变换后的电压、电流信号和开关状态后与动作阈值比较，满足动作条件时触发继电器合上备用电源开关，所有变换后的弱电信号、继电保护装置和备用电源自投装置的动作情况、动作前后开关的状态以报文方式通过远程测控终端和电力通讯网络传送给前置模块；

2) 前置模块接收到报文后对信号进行解析还原，并进行滤波处理，过滤错误信息后将信号传递给控制决策模块，控制决策模块将接收到的电压电流值与正常电压电流值进行比较、进行网络拓扑连通性检查，若负荷处的电压电流不在正常值范围内、且与电源不连通时，执行拓扑分析输出对非故障的失电负荷的恢复供电方案，并按遥控报文格式组织开关动作和保护定值区修改的控制信号，发送给前置模块；

3) 不存在失电负荷时，控制决策模块进行拓扑追踪负荷的电源，当负荷的电源中只有分布式电源时，利用接收到的频率、电压、电流信号对孤岛内的有功功率和无功功率进行平衡计算以输出切机、切负荷方案，并按遥控报文格式组织有功无功电源和负荷的控制信号，发送给前置模块；

4) 不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系时，控制决策模块利用接收到的电压、电流、开关状态信号和存储的历史电压、电流、开关状态信号进行状态辨识，并与存储的故障特征量比较，当故障特征量不存在时按遥控报文格式组织安全自动装置的调控命令信号，发送给前置模块；

5) 无故障发生、不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系时，控制决策模块将接收到的开关特征信息与出厂技术参数进行比较，当实际值不在正常范围时确定开关存在异常，然后设置异常开关退出并逐步增大功率，计算各种功率情况下城市电网的临界电压，将当前运行情况与临界电压、电压和电流的正常运行范围进行比较，当存在电压失稳趋势、过负荷或电压越限信号时，经过拓扑与灵敏度计算输出转移负荷的路径、电容器投切和变压器分接头调节策略，并按遥控报文格式组织控制信号，发送给前置模块；

6) 无故障发生、不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系、无异常情况时，控制决策模块利用接收到的继电保护装置动作信号、动作前后开关的状态信号和动作前后的电压电流信号进行继电保护、开关动作逻辑因果追踪确定故障的位置与类型，然后对比继电保护装置和开关的实际动作行为与应有动作逻辑，不一致时确定为误动或拒动，并检验继电保护的选择性、灵敏性和速动性，对不满足要求的保护定值进行整定计算，选择能适应当前运行方式的定值区作为当前定值区，按遥控报文格式组织控制信号，发送给前置模块；

7) 未接收到信号时，控制决策模块在定时器触发下启动从前置模块采集电压、电流、开关状态信号和运行维修记录，进行状态辨识，与城市电网运行状态特征进行比较，如果不存在失电负荷、供电孤岛、故障、过负荷、电压越限、电压失稳趋势、设备异常、高低压电磁环

网、二次系统安全隐患，则结合存储的设备运行年限与寿命曲线得出故障发生概率，开断故障概率大于阈值的设备计算潮流分布，与安全阈值比较得到安全裕度和破坏安全约束的预想事故，并对当前运行电网进行网络拓扑连通性检查，如果从一点出发经过一些设备后能回到出发点，则所经过的路径为高低压电磁环网，然后经过拓扑输出解环与负荷转移方案，并按遥控报文格式组织开关操作信号，发送给前置模块；

8) 如果任意设备退出运行时城市电网仍然能正常运行，则对历史负荷进行延拓处理，得出负荷的变化趋势，然后结合接收到的当前电压、电流、开关状态信号对各种运行方式下的网损进行计算、比较，得到网损最小的运行方式以及由当前运行方式转变为网损最小运行方式所需要进行的操作，进一步根据新的运行方式和负荷的变化趋势，计算无功潮流和功率因数，改变无功电源出力直到城市电网的无功潮流减少、功率因数增大且大于功率因数限值、网损减小时确定为无功补偿设备的最终运行状态，最后按遥控报文格式组织开关操作和变压器分接头操作的命令信号，发送给前置模块；

9) 如果网损最小运行方式与当前运行方式相同，则利用接收到的历史电压电流信号、预测负荷数据和电网结构对城市电网运行的现状进行评估，比较负荷变化前后各种运行方式下的功率分布和电压的变化情况，输出当前电网结构、有功电源或无功电源不能满足负荷及其变化的情况，以及调整电网结构、有功电源或无功电源的策略；

10) 前置模块接收到控制命令信号时，通过电力通讯网络发送给远程测控装置执行相应的控制操作。

2. 根据权利要求 1 所述的城市电网运行的自愈控制方法，其特征在于执行拓扑分析输出对非故障的失电负荷的恢复供电方案，其方法为比较各备用电源的功率，得到电源功率大于负荷且操作开关最少的供电方式，如果没有可行的供电方式能恢复对所有负荷的供电则根据负荷的重要性进行排序，将大于电源功率且重要性低的负荷确定为停电负荷，然后对操作后的电网运行方式进行保护定值整定计算，选择能适应该运行方式的定值区作为当前定值区。

3. 根据权利要求 1 所述的城市电网运行的自愈控制方法，其特征在于对孤岛内的有功功率和无功功率进行平衡计算以输出切机、切负荷方案，其方法为控制决策模块利用接收到的孤岛内的频率、电压、电流信号进行功率平衡计算，如果孤岛内电源能发出的总功率小于总负荷则根据负荷的重要性进行排序，将大于电源功率且重要性低的负荷确定为停电负荷，如果发电机出力远大于总负荷则根据发电机的出力进行排序，出力大小与功率差额最接近的发电机确定为停发机组；在孤岛内功率平衡基础上逐步增大孤岛内的负荷功率，计算各种功率情况下孤岛的临界电压，将当前运行情况与临界电压进行比较，存在电压失稳趋势时对最接近临界电压处的电容器、发电机和负荷进行控制，使孤岛内不发生电压失稳现象。

4. 根据权利要求 1 所述的城市电网运行的自愈控制方法，其特征在于经过拓扑与灵敏度计算输出转移负荷的路径、电容器投切和变压器分接头调节策略，其方法为设置异常设备的运行状态为退出，计算城市电网各种运行方式和无功补偿方式下的功率分布、电压分布、以及负荷增长时的临界电压，并将各种运行情况与电压和电流的正常运行范围进行比较，得到电压和电流都没有超出正常运行范围的运行方式，然后将当前负荷下城市电网的临界电压与同样运行方式下负荷增长时的临界电压进行比较，选出安全裕度最大的运行方

式，然后对此运行方式进行保护定值整定计算，选择能适应此运行方式的定值区作为当前定值区，从而得出当前运行方式转变为该运行方式需要进行的开关操作、电容器投切或变压器分接头调节情况，以及操作顺序。

5. 根据权利要求 1 所述的城市电网运行的自愈控制方法，其特征在于经过拓扑输出解环与负荷转移方案，其方法为依次设置高低压电磁环网中每个设备的状态为退出，计算退出前后功率的变化量，并进行排序，变化量最小的设备确定为解环点，然后退出破坏安全约束的预想事故设备，计算城市电网潮流分布，并与最大允许功率进行比较，大于最大允许功率时，改变开关运行状态重新计算潮流分布，如果始终不能将所有线路功率减小到最大允许值之下，则改变开关状态调整现有的网络运行方式，均衡负荷的分布，使得在破坏安全约束的预想事故设备退出情况下所有线路的功率都小于最大允许值，比较当前运行方式与新运行方式得出需要操作的开关及操作顺序。

城市电网运行的自愈控制方法

技术领域

[0001] 本发明是一种用于运行的城市电网中，采用智能方法对继电保护、开关、安全自动装置、各种自动调节装置及其参数进行协调控制，从而实现城市电网的稳定、安全、可靠、经济运行的技术方案，属于电力系统理论、控制理论和人工智能的交叉技术应用领域。

背景技术

[0002] 现代社会的发展使得城市电网向着电压等级复杂化、电源方式多样化、长短线路并存、架空线与电缆线并存、带弱环的开环运行方式、单负荷容量增大与动态负荷增多的方向发展，同时要求城市电网具有更高的供电安全性与可靠性，自愈控制技术就是在这一需求下应用到电网中的一种新的控制模式。自愈控制技术的诞生和发展是人工智能与控制理论发展的必然结果，和传统的控制模式相比，它具有自治性、智能性、适应性、协调性、主动性和社会性等优良特征，使被控对象具备很强的自我愈合、自我防治、自我免疫能力。

[0003] 传统的输电网自动化系统分为三个层次，省级主网主要完成 SCADA 功能和 EMS 功能，地区电网和县级电网主要完成 SCADA 功能和 PAS 功能，而部分地区电网和大部分县级电网只具备 SCADA 功能。继电保护、备用电源自投装置、安全自动装置、自动调节装置等与自动化系统相对孤立，SCADA 系统与 PAS 应用也不是一个整体，不同的 PAS 应用之间也是孤立运行，不存在相互协调，电网的各种信息存在于各个信息孤岛之中，整个电网的调节控制是各自为政，缺乏统一的调度。保护定值的整定与配合都是在离线状态下按最大方式整定、按最小方式校验，缺乏对保护的实时监视和管理。

[0004] 鉴于自愈控制技术的上述优点，在通讯、网络等领域中纷纷提出了自愈控制方案，目前自愈控制在电网中的应用只针对于输电网，并且仅考虑对故障隐患的处理和故障后的恢复，也没有提出具体可行的控制策略。为了防止出现大面积停电，在被中断供电、解裂、切除后，城市电网要有自我恢复供电的能力，要求开展城市电网规划和改造工作，促进电网与城市的协调发展，建成坚强的城市电网，提高供电能力和可靠性，确保电网安全稳定运行，满足社会经济发展及人民生活水平不断提高的要求。这就需要我们研究并实现新的控制模式，实现一次系统、二次系统、网络和自动化的有效集成与协调控制。

发明内容

[0005] 技术问题：本发明的目的是提供一种城市电网运行的自愈控制方法。城市电网自愈控制通过进行数据采集，自动判断城市电网当前所处的运行状态，并根据城市电网所处的运行状态，运用智能方法进行决策，实现对继电保护、开关、安全自动装置、自动调节装置的自动控制，在期望时间内促使城市电网转向更好的运行状态，使城市电网具备自愈能力，即使城市电网能够顺利渡过紧急情况、及时恢复供电，运行时满足安全约束，具有较高的经济性，对于负荷变化等扰动具有很强的适应能力。

[0006] 技术方案：城市电网的自愈控制通过对城市电网状态的自动辨识，并根据实际条件进行控制决策，统一协调装置与调度自动化系统，协调紧急情况与非紧急情况、异常情况

与正常情况下的电网控制，形成分散控制与集中控制、局部控制与整个城市电网的综合控制相协调的控制模式，体现出城市电网的自愈能力。为此，完整定义了城市电网的运行状态、以及各种运行状态与相应控制之间的关系。

[0007] 本发明的城市电网运行的自愈控制方法采用基于自愈控制技术的城市电网一体化协调控制模式，信号的处理和控制策略的生产具有自适应性，无需外界干预自动完成控制过程，协调继电保护装置、开关、安全自动装置、自动调节装置的动作行为，具体步骤如下：

[0008] 1）首先，电压电流互感器分别将城市电网各处的电压、电流信号变换为弱电信号，传感器将开关的动作特性、触头温度变换为弱电信号，继电保护装置接收到变换后的电压、电流信号后与当前保护定值区的定值进行比较，大于动作启动值时触发继电器将开关跳开以切除故障，备用电源自投装置接收到变换后的电压、电流信号和开关状态后与动作阀值比较，满足动作条件时触发继电器合上备用电源开关，所有变换后的弱电信号、继电保护装置和备用电源自投装置的动作情况、动作前后开关的状态以报文方式通过远程测控终端和电力通讯网络传送给前置模块；

[0009] 2）前置模块接收到报文后对信号进行解析还原，并进行滤波处理，过滤错误信息后将信号传递给控制决策模块，控制决策模块将接收到的电压电流值与正常电压电流值进行比较、进行网络拓扑连通性检查，若负荷处的电压电流不在正常值范围内、且与电源不连通时，执行拓扑分析输出对非故障的失电负荷的恢复供电方案，并按遥控报文格式组织开关动作和保护定值区修改的控制信号，发送给前置模块；

[0010] 3）不存在失电负荷时，控制决策模块进行拓扑追踪负荷的电源，当负荷的电源中只有分布式电源时，利用接收到的频率、电压、电流信号对孤岛内的有功功率和无功功率进行平衡计算以输出切机、切负荷方案，并按遥控报文格式组织有功无功电源和负荷的控制信号，发送给前置模块；

[0011] 4）不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系时，控制决策模块利用接收到的电压、电流、开关状态信号和存储历史的电压、电流、开关状态信号进行状态辨识，并与存储的故障特征量比较，当故障特征量不存在时按遥控报文格式组织安全自动装置的调控命令信号，发送给前置模块；

[0012] 5）无故障发生、不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系时，控制决策模块将接收到的开关特征信息与出厂技术参数进行比较，当实际值不在正常范围时确定开关存在异常，然后设置异常开关退出并逐步增大功率，计算各种功率情况下城市电网的临界电压，将当前运行情况与临界电压、电压和电流的正常运行范围进行比较，当存在电压失稳趋势、过负荷或电压越限信号时，经过拓扑与灵敏度计算输出转移负荷的路径、电容器投切和变压器分接头调节策略，并按遥控报文格式组织控制信号，发送给前置模块；

[0013] 6）无故障发生、不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系、无异常情况时，控制决策模块利用接收到的继电保护装置动作信号、动作前后开关的状态信号和动作前后的电压电流信号进行继电保护、开关动作逻辑因果追踪确定故障的位置与类型，然后对比继电保护装置和开关的实际动作行为与应有动作逻辑，不一致时确定为误动或拒动，并检验继电保护的选择性、灵敏性和速动性，对不满足要求的保护定值进行整定计算，选择能适应当前运行方式的定值区作为当前定值区，按遥控报文格式组织控制信号，发送给前置模块；

[0014] 7) 未接收到信号时，控制决策模块在定时器触发下启动从前置模块采集电压、电流、开关状态信号和运行维修记录，进行状态辨识，与城市电网运行状态特征进行比较，如果不存在失电负荷、供电孤岛、故障、过负荷、电压越限、电压失稳趋势、设备异常、高低压电磁环网、二次系统安全隐患，则结合存储的设备运行年限与寿命曲线得出故障发生概率，开断故障概率大于阀值的设备计算潮流分布，与安全阈值比较得到安全裕度和破坏安全约束的预想事故，并对当前运行电网进行网络拓扑连通性检查，如果从一点出发经过一些设备后能回到出发点，则所经过的路径为高低压电磁环网，然后经过拓扑输出解环与负荷转移方案，并按遥控报文格式组织开关操作信号，发送给前置模块；

[0015] 8) 如果任意设备退出运行时城市电网仍然能正常运行，则对历史负荷进行延拓处理，得出负荷的变化趋势，然后结合接收到的当前电压、电流、开关状态信号对各种运行方式下的网损进行计算、比较，得到网损最小的运行方式以及由当前运行方式转变为网损最小运行方式所需要进行的操作，进一步根据新的运行方式和负荷的变化趋势，计算无功潮流和功率因数，改变无功电源出力直到城市电网的无功潮流减小、功率因数增大且大于功率因数限值、网损减小时确定为无功补偿设备的最终运行状态，最后按遥控报文格式组织开关操作和变压器分接头操作的命令信号，发送给前置模块；

[0016] 9) 如果网损最小运行方式与当前运行方式相同，则利用接收到的历史电压电流信号、预测负荷数据和电网结构对城市电网运行的现状进行评估，比较负荷变化前后各种运行方式下的功率分布和电压的变化情况，输出当前电网结构、有功电源或无功电源不能满足负荷及其

[0017] 变化的情况，以及调整电网结构、有功电源或无功电源的策略。

[0018] 10) 前置模块接收到控制命令信号时，通过电力通讯网络发送给远程测控装置执行相应的控制操作。

[0019] 其中：执行拓扑分析输出对非故障的失电负荷的恢复供电方案的方法为比较各备用电源的功率，得到电源功率大于负荷且操作开关最少的供电方式，如果没有可行的供电方式能恢复对所有负荷的供电则根据负荷的重要性进行排序，将大于电源功率且重要性低的负荷确定为停电负荷，然后对操作后的电网运行方式进行保护定值整定计算，选择能适应该运行方式的定值区作为当前定值区。

[0020] 对孤岛内的有功功率和无功功率进行平衡计算以输出切机、切负荷方案的方法为控制决策模块利用接收到的孤岛内的频率、电压、电流信号进行功率平衡计算，如果孤岛内电源能发出的总功率小于总负荷则根据负荷的重要性进行排序，将大于电源功率且重要性低的负荷确定为停电负荷，如果发电机出力远大于总负荷则根据发电机的出力进行排序，出力大小与功率差额最接近的发电机确定为停发机组；在孤岛内功率平衡基础上逐步增大孤岛内的负荷功率，计算各种功率情况下孤岛的临界电压，将当前运行情况与临界电压进行比较，存在电压失稳趋势时对最接近临界电压处的电容器、发电机和负荷进行控制，使孤岛内不发生电压失稳现象。

[0021] 经过拓扑与灵敏度计算输出转移负荷的路径、电容器投切和变压器分接头调节策略的方法为设置异常设备的运行状态为退出，计算城市电网各种运行方式和无功补偿方式下的功率分布、电压分布、以及负荷增长时的临界电压，并将各种运行情况与电压和电流的正常运行范围进行比较，得到电压和电流都没有超出正常运行范围的运行方式，然后将当

前负荷下城市电网的临界电压与同样运行方式下负荷增长时的临界电压进行比较，选出安全裕度最大的运行方式，然后对此运行方式进行保护定值整定计算，选择能适应此运行方式的定值区作为当前定值区，从而得出当前运行方式转变为该运行方式需要进行的开关操作、电容器投切或变压器分接头调节情况，以及操作顺序。

[0022] 经过拓扑输出解环与负荷转移方案的方法为依次设置高低压电磁环网中每个设备的状态为退出，计算退出前后功率的变化量，并进行排序，变化量最小的设备确定为解环点，然后退出破坏安全约束的预想事故设备，计算城市电网潮流分布，并与最大允许功率进行比较，大于最大允许功率时，改变开关运行状态重新计算潮流分布，如果始终不能将所有线路功率减小到最大允许值之下，则改变开关状态调整现有的网络运行方式，均衡负荷的分布，使得在破坏安全约束的预想事故设备退出情况下所有线路的功率都小于最大允许值，比较当前运行方式与新运行方式得出需要操作的开关及操作顺序。

[0023] 有益效果：本方案将自愈控制技术应用到城市电网中可以得到如下的效果：

[0024] 1、一体化决策

[0025] 本方案将各种装置的动作及其参数的设置与调度端的控制决策、紧急情况与非紧急情况、异常情况与正常情况作为一个整体进行一体化的设计，避免产生信息孤岛与控制孤岛。

[0026] 2、智能化决策

[0027] 本方案根据各种装置与调度端、紧急情况与非紧急情况、异常情况与正常情况的不同特点，采用与各自相适应的智能方法进行决策，使整个控制决策与控制过程智能化。

[0028] 3、自治性与协调性

[0029] 本方案中各种装置具有一定的自治性，当没有接到调度端的命令时自主进行决策与控制，同时也能根据调度端的控制信号进行操作，保证城市电网各部分之间的协调性。各种控制具有一定的自治性，各自在相应的触发条件下进行决策与控制，必要时由总的控制进行协调，保证同一时间实施的控制措施之间协调，不同时刻执行的控制措施之间能协调，避免控制的混乱。

[0030] 4、冗余性与可靠性

[0031] 本方案充分利用数据采集得到的冗余信息进行分析，确保城市电网状态的准确辨识。从不同的控制目标和不同的角度出发进行决策，相互之间进行校核，保证控制决策的正确性与可靠性。

[0032] 5、适应性

[0033] 本方案能在各种情况下对城市电网进行控制，适应能力强。在紧急情况下确保负荷的正常供电，在现有条件下不能保证所有负荷的供电时优先对重要负荷进行供电，能消除城市电网中出现的异常情况和安全隐患，在城市电网能够安全正常供电时尽量提高供电的经济性与电网的健壮性。

附图说明

[0034] 图 1 是城市电网自愈控制方案的框架结构示意图。

[0035] 图 2 是图 1 中紧急控制与恢复控制的功能流。

[0036] 图 3 是图 1 中孤岛控制的功能流。

[0037] 图 4 是图 1 中校正控制的功能流。

[0038] 图 5 是图 1 中预防控制的功能流。

[0039] 图 6 是图 1 中优化控制的功能流。

[0040] 图 7 是图 1 中健壮控制的功能流。

具体实施方式

[0041] 城市电网自愈控制方案是根据城市电网当前所处的运行状态进行控制，使其达到一种更佳的运行状态，从而保证城市电网的稳定、安全、可靠、经济运行。具体的控制过程如下：

[0042] 1) 首先，电压电流互感器分别将城市电网各处的电压、电流信号变换为弱电信号，传感器将开关的动作特性、触头温度变换为弱电信号，继电保护装置接收到变换后的电压、电流信号后与当前保护定值区的定值进行比较，大于动作启动值如定值 0 区为当前保护定值区、电流 I 段定值为 7A、采集到的平山 311 线路电流为 9.3A 时触发继电器将洪将台 311 开关跳开以切除故障；重合闸合上跳开的洪将台 311 开关，此时检测到平山 311 线路电流仍为 9.3A，重合闸再次跳开刚合上的洪将台 311 开关，此次重合失败；备用电源自投装置接收到变换后的电压、电流信号和开关状态后与动作阀值比较，满足动作条件如平山 35kVI 段母线电压为 0.0kV、平山 35kVII 段母线电压为 35.64kV、平山 310 母联开关的运行状态为断开时触发继电器合上此时的备用电源开关，即平山 310 母联开关，所有变换后的弱电信号、继电保护装置和备用电源自投装置的动作情况、动作前后开关的状态以报文方式通过远程测控终端和电力通讯网络传送给前置模块；

[0043] 2) 前置模块接收到报文后对信号进行解析还原，并进行滤波处理，如采集到平山 10kV 母线电压为 3.21kV、处理后为 0.0kV，过滤错误信息后将信号传递给控制决策模块，控制决策模块将接收到的电压电流值与正常电压电流值进行比较、进行网络拓扑连通性检查，若负荷处的电压电流不在正常范围内、且与电源不连通时确定为失电负荷，如平山 10kV 母线电压为 0.0kV，小于正常电压 9.8kV，且平山 10kV 母线与电源的连接通路被切断，则确定连接到该母线的负荷为失电负荷，然后执行拓扑分析输出对非故障的失电负荷的恢复供电方案如连接到平山 10kV 母线的负荷的恢复供电方案为平山 304 开关分闸、303 开关合闸，并按遥控报文格式组织开关动作和保护定值区修改的控制信号，发送给前置模块；

[0044] 3) 不存在失电负荷时，控制决策模块进行拓扑追踪负荷的电源，当负荷的电源中只有分布式电源时确定为供电孤岛，如只有同源电厂为洪将台的 308 程桥负荷和东门变的所有负荷供电，这些负荷与同源电厂及其相互之间的连接组成一个供电孤岛，然后利用接收到的频率、电压、电流信号对孤岛内的有功功率和无功功率进行平衡计算以输出切机、切负荷方案，如洪将台 308 程桥负荷和东门变的所有负荷之和为 23MW，大于同源电厂最大出力 15MW，孤岛内的有功功率不平衡，经过排序，东门变的 108 延安负荷、106 延边负荷重要性最低，输出的切负荷方案为切除 108 延安负荷和 106 延边负荷，并按遥控报文格式组织有功无功电源和负荷的控制信号，发送给前置模块；

[0045] 4) 不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系时，控制决策模块利用接收到的电压、电流、开关状态信号和存储的历史电压、电流、开关状态信号进行状态辨识，如采集到六合 767 开关的运行状态为合上、767 六东线东门侧电压为 116.52kV、辨识出 767 六东线无故

障，并与存储的故障特征量（767 六东线故障）比较，当故障特征量不存在时按遥控报文格式组织安全自动装置的调控命令信号，如调节东门 767 开关两侧电压差减小到 5.5kV、两侧频率差减小到 0.1Hz，发送给前置模块；

[0046] 5）无故障发生、不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系时，控制决策模块将接收到的开关特征信息与出厂技术参数进行比较，当实际值不在正常范围时确定开关存在异常，如金牛 310 开关的分闸时间 56.9ms、分闸速度 0.82m/s、出厂参数中分闸时间为小于等于 50ms、分闸速度为 0.9 ～ 1.3m/s 之间，实际分闸时间过长、分闸速度过慢，故该开关存在异常，然后设置异常开关退出并逐步增大功率，如将马四负荷从 2.4MW 按 0.1MW 的步长逐步增大到 60MW，计算各种功率情况下城市电网的临界电压，将当前运行情况如马集 35kVII 段母线电压为 30.97kV、马集 1# 主变 35kV 侧电流为 78.3A 与临界电压如马集 35kVII 段母线为 23.7kV、电压和电流的正常运行范围如 35kV 母线电压为 31.5 ～ 38.5kV、马集 1# 主变 35kV 侧电流为 505A 进行比较，当存在电压失稳趋势、过负荷或电压越限信号如马集 35kVII 段母线电压低于正常运行范围时，经过拓扑与灵敏度计算输出转移负荷的路径、电容器投切和变压器分接头调节策略，如金牛 310 开关分闸、金牛 387 开关合闸、升高马集 1# 主变档位，并按遥控报文格式组织控制信号，发送给前置模块；

[0047] 6）无故障发生、不存在失电负荷且负荷与大电网有电气联系、无异常情况时，控制决策模块利用接收到的继电保护装置动作信号、动作前后开关的状态信号和动作前后的电压电流信号进行继电保护、开关动作逻辑因果追踪确定故障的位置与类型，如 768 六洪 1# 线和 769 六洪 2# 线的电流 II 段保护动作分别跳开六合 768 开关、六合 769 开关，动作前平山 35kVI 段母线电压为 3.2kV、10kV 母线电压为 0.9kV、311 平山线电流为 6.7A，确定故障发生在 311 平山线，然后对比继电保护装置和开关的实际动作行为与应有动作逻辑，不一致时确定为误动或拒动，如 311 平山线洪将台侧电流 I 段保护确定为拒动，并检验继电保护的选择性、灵敏性和速动性，对不满足要求的保护定值进行整定计算，选择能适应城市电网运行状态的定值区作为当前定值区，如将 311 平山线洪将台侧电流 I 段保护的当前定值区修改为定值 0 区，按遥控报文格式组织控制信号，发送给前置模块；

[0048] 7）未接收到信号时，控制决策模块在定时器触发下启动从前置模块采集电压、电流、开关状态信号和运行维修记录，进行状态辨识，与城市电网运行状态特征进行比较，如果不存在失电负荷、供电孤岛、故障、过负荷、电压越限、电压失稳趋势、设备异常、高低压电磁环网、二次系统安全隐患，则结合存储的设备运行年限与寿命曲线得出故障发生概率，分别开断故障概率大于阀值如 0.1 的设备如 714 洪马 1# 线、715 洪马 2# 线、770 六金线计算潮流分布，与安全阈值比较得到安全裕度和破坏安全约束的预想事故，如 714 洪马 1# 线，并对当前运行电网进行网络拓扑连通性检查，如果从一点出发经过一些设备后能回到出发点，则所经过的路径为高低压电磁环网，然后经过拓扑输出解环与负荷转移方案，如马集 710 开关分闸、平山 303 开关合闸将马集 1# 主变的负荷转移到平山变，并按遥控报文格式组织开关操作信号，发送给前置模块；

[0049] 8）如果任意设备退出运行时城市电网仍然能正常运行，则对历史负荷进行延拓处理，得出负荷的变化趋势，然后结合接收到的当前电压、电流、开关状态信号对各种运行方式下的网损进行计算、比较，得到网损最小的运行方式以及由当前运行方式转变为网损最小运行方式所需要进行的操作，如断开平山 303 开关、合上平山 304 开关，进一步根据新的

运行方式和负荷的变化趋势，计算无功潮流和功率因数，改变无功电源出力直到城市电网的无功潮流减小、功率因数增大且大于功率因数限值、网损减小时确定为无功补偿设备的最终运行状态，如投入马集 115 电容器、升高洪将台 1# 主变档位，最后按遥控报文格式组织开关操作和变压器分接头操作的命令信号，发送给前置模块；

[0050] 9）如果网损最小运行方式与当前运行方式相同，则利用接收到隐患，任意设备退出运行时城市电网仍然能正常运行，且对于当前负荷分布情况按当前方式运行网损最小、运行成本最低，则确定城市电网处于优化正常运行状态，此时利用获的历史电压电流信号、预测负荷数据和电网结构对城市电网运行的现状进行评估，比较负荷变化前后各种运行方式下的功率分布和电压的变化情况，输出当前电网结构、有功电源或无功电源不能满足负荷及其变化的情况，如马集变的负荷成 3 倍以上速度增长，在达到 65MW 后，仅由 714 洪马 1# 线和 715 洪马 2# 线供电不可靠，当一条线检修时，另一条线不能承担所有负荷的供电，然后列出调整电网结构、有功电源或无功电源的策略，如在马集变附近建一座分布式电源；

[0051] 10）前置模块接收到控制命令信号时，通过电力通讯网络发送给远程测控装置执行相应的控制操作。

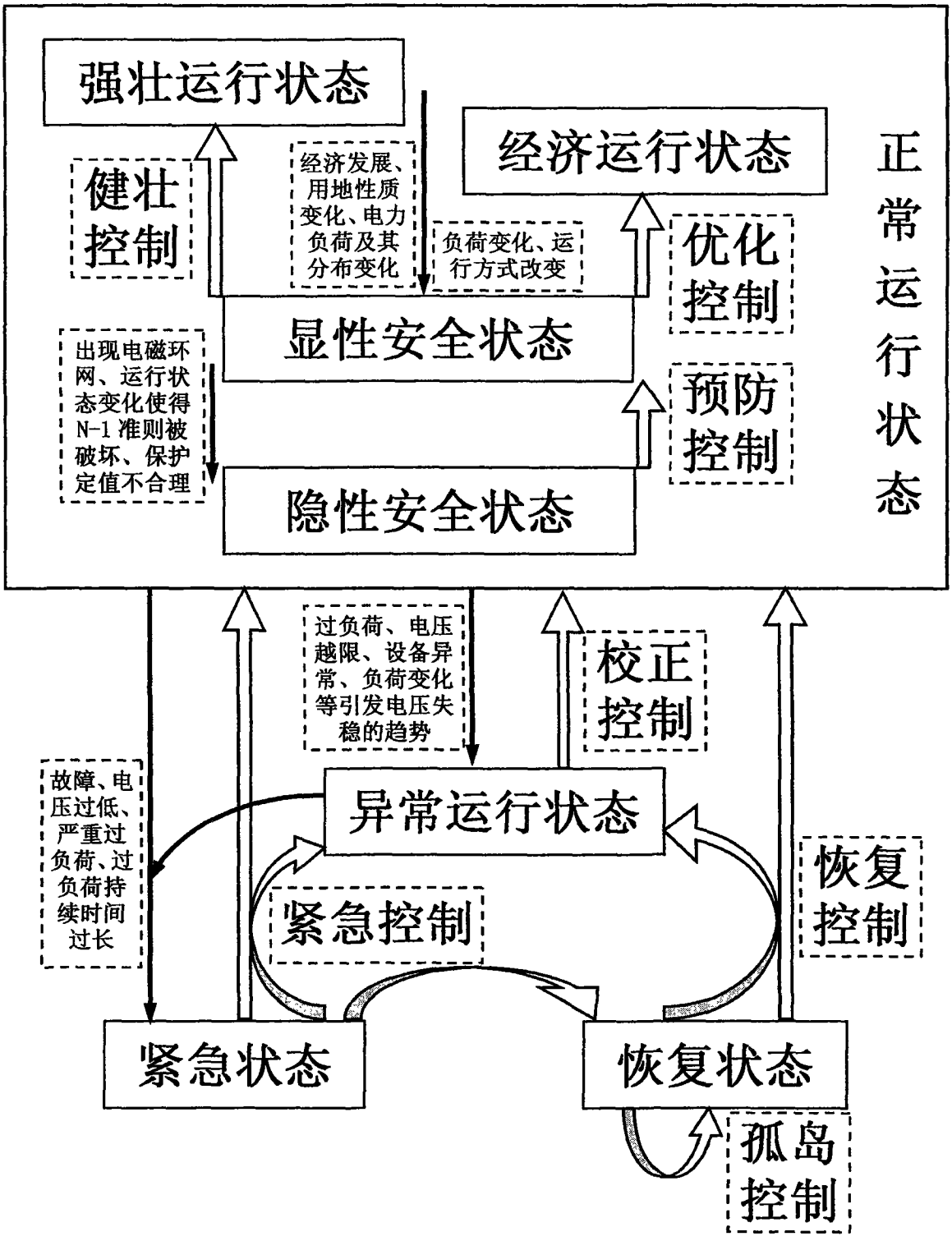

强壮运行状态
经济运行状态
正常运行状态
健壮控制
经济发展、用地性质变化、电力负荷及其分布变化
负荷变化、运行方式改变
优化控制
显性安全状态
出现电磁环网、运行状态变化使得N-1准则被破坏、保护定值不合理
预防控制
隐性安全状态
过负荷、电压越限、设备异常、负荷变化等引发电压失稳的趋势
校正控制
故障、电压过低、严重过负荷、过负荷持续时间过长
异常运行状态
恢复控制
紧急控制
紧急状态
恢复状态
孤岛控制

图 1

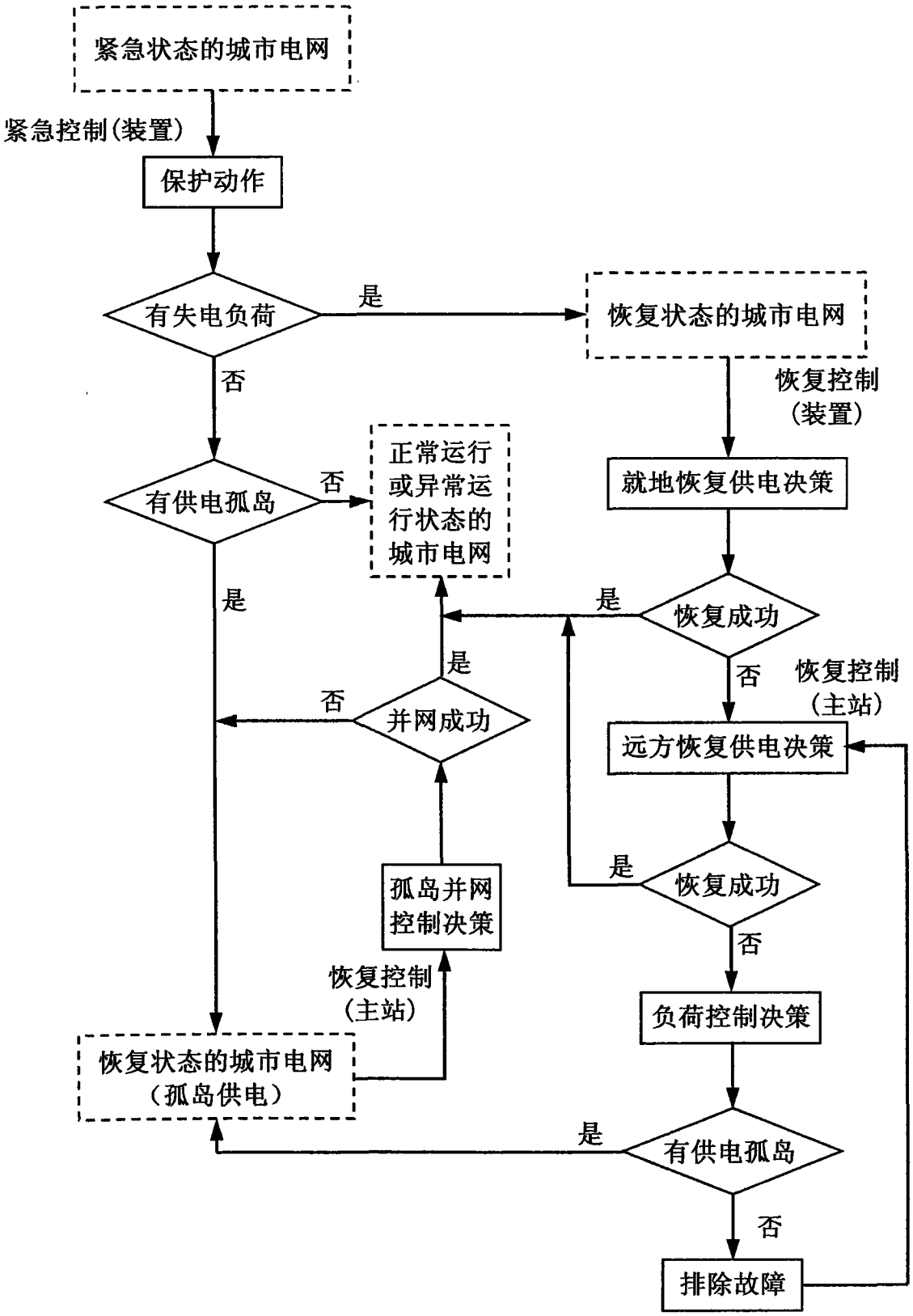

紧急状态的城市电网
紧急控制(装置)
保护动作
有失电负荷
是
恢复状态的城市电网
恢复控制
(装置)
否
有供电孤岛
否
正常运行
或异常运
行状态的
城市电网
就地恢复供电决策
是
恢复成功
是
否
恢复控制
(主站)
并网成功
否
远方恢复供电决策
是
恢复成功
孤岛并网
控制决策
否
恢复控制
(主站)
负荷控制决策
恢复状态的城市电网
(孤岛供电)
是
有供电孤岛
否
排除故障

图 2

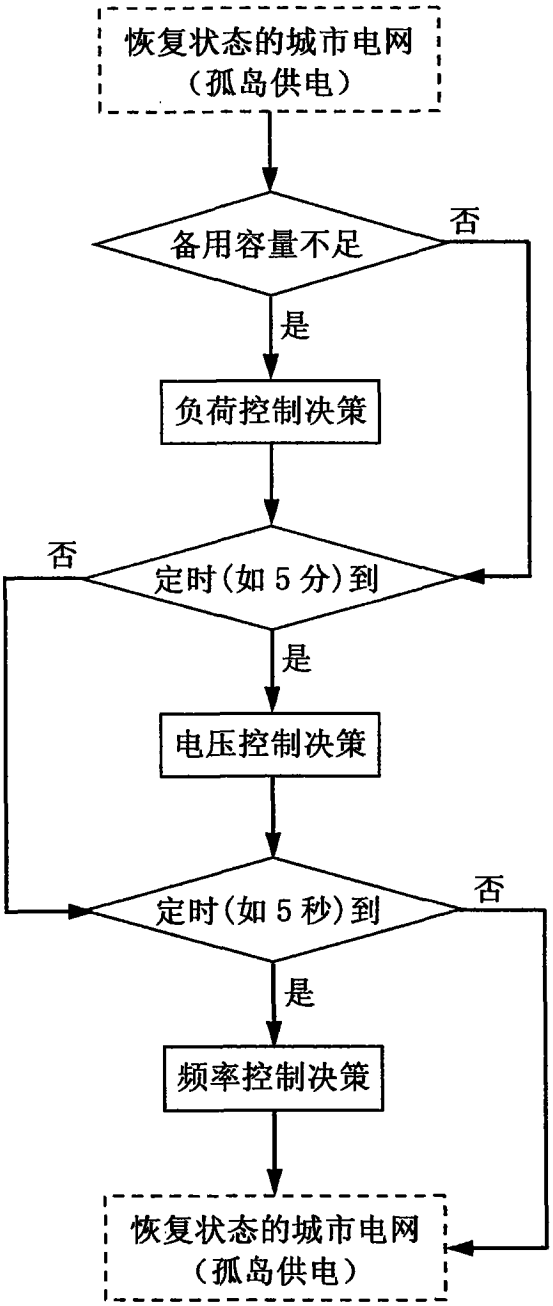

恢复状态的城市电网
（孤岛供电）
备用容量不足
否
是
负荷控制决策
否
定时(如 5 分)到
是
电压控制决策
定时(如 5 秒)到
否
是
频率控制决策
恢复状态的城市电网
（孤岛供电）

图 3

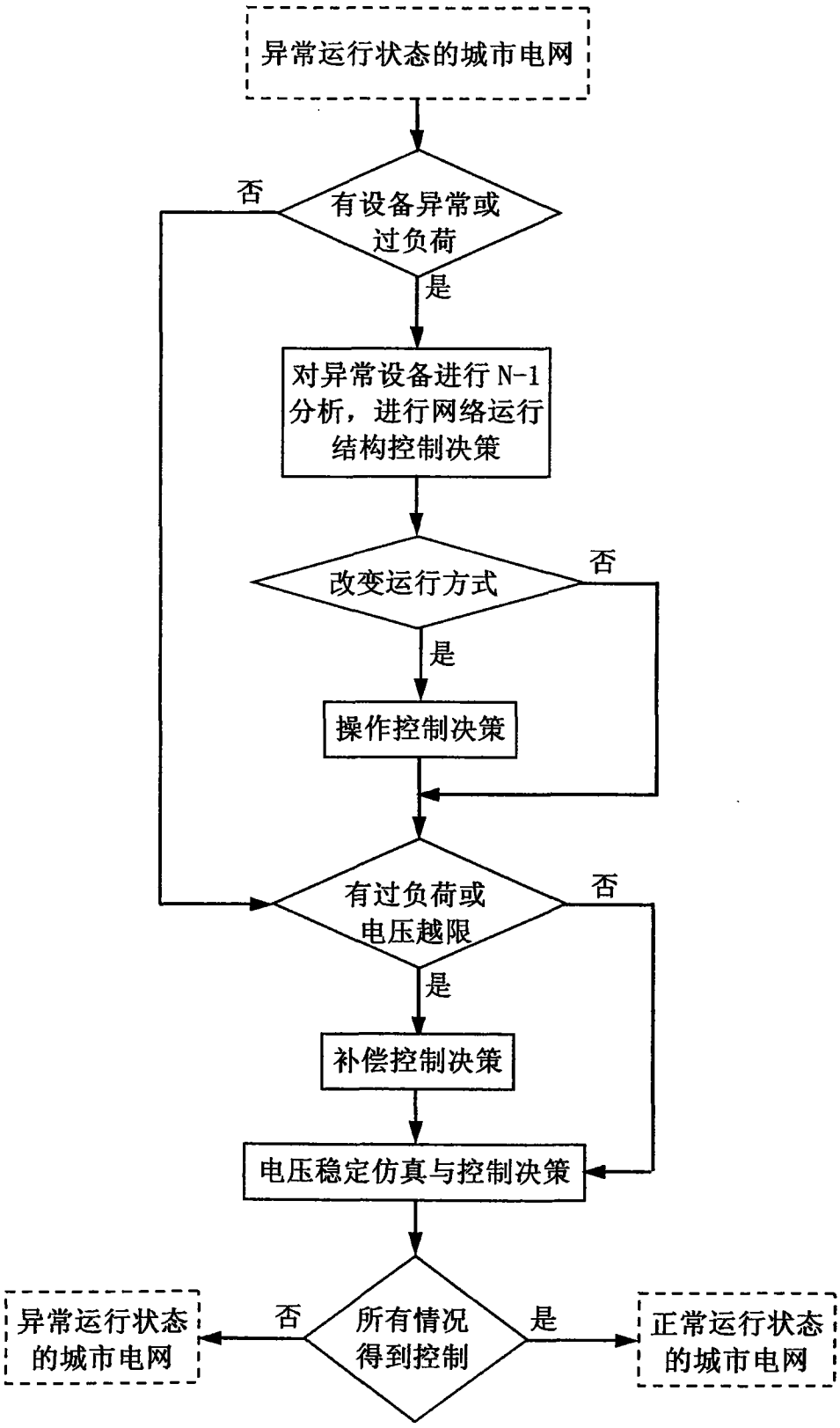

异常运行状态的城市电网
有设备异常或过负荷
否
是
对异常设备进行 N-1 分析，进行网络运行结构控制决策
改变运行方式
否
是
操作控制决策
有过负荷或电压越限
否
是
补偿控制决策
电压稳定仿真与控制决策
所有情况得到控制
否
是
异常运行状态的城市电网
正常运行状态的城市电网

图 4

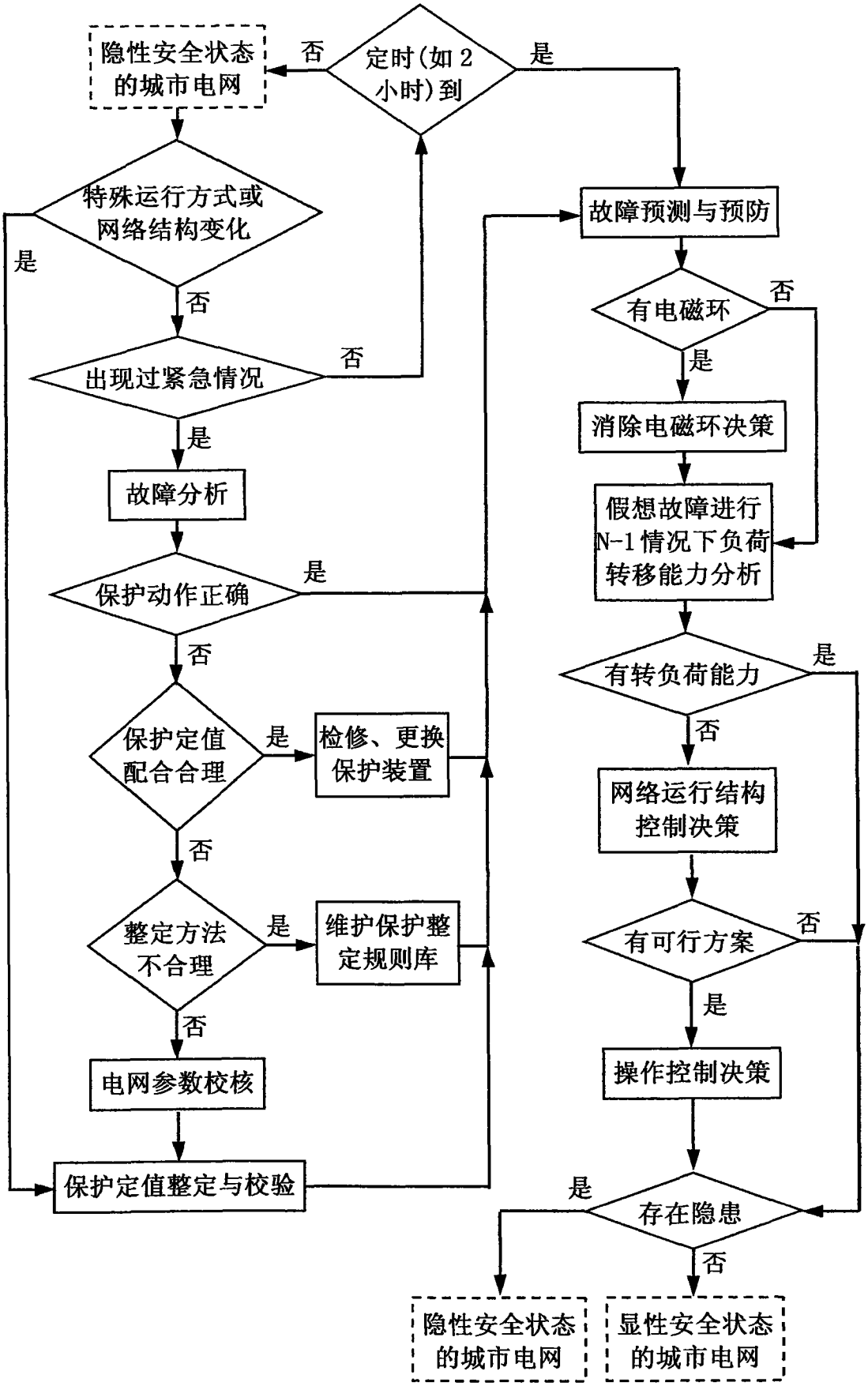

隐性安全状态的城市电网
否
定时(如2小时)到
是
特殊运行方式或网络结构变化
是
否
出现过紧急情况
否
是
故障分析
保护动作正确
是
否
保护定值配合合理
是
检修、更换保护装置
否
整定方法不合理
是
维护保护整定规则库
否
电网参数校核
保护定值整定与校验
故障预测与预防
有电磁环
否
是
消除电磁环决策
假想故障进行N-1情况下负荷转移能力分析
有转负荷能力
是
否
网络运行结构控制决策
有可行方案
否
是
操作控制决策
是
存在隐患
否
隐性安全状态的城市电网
显性安全状态的城市电网

图 5

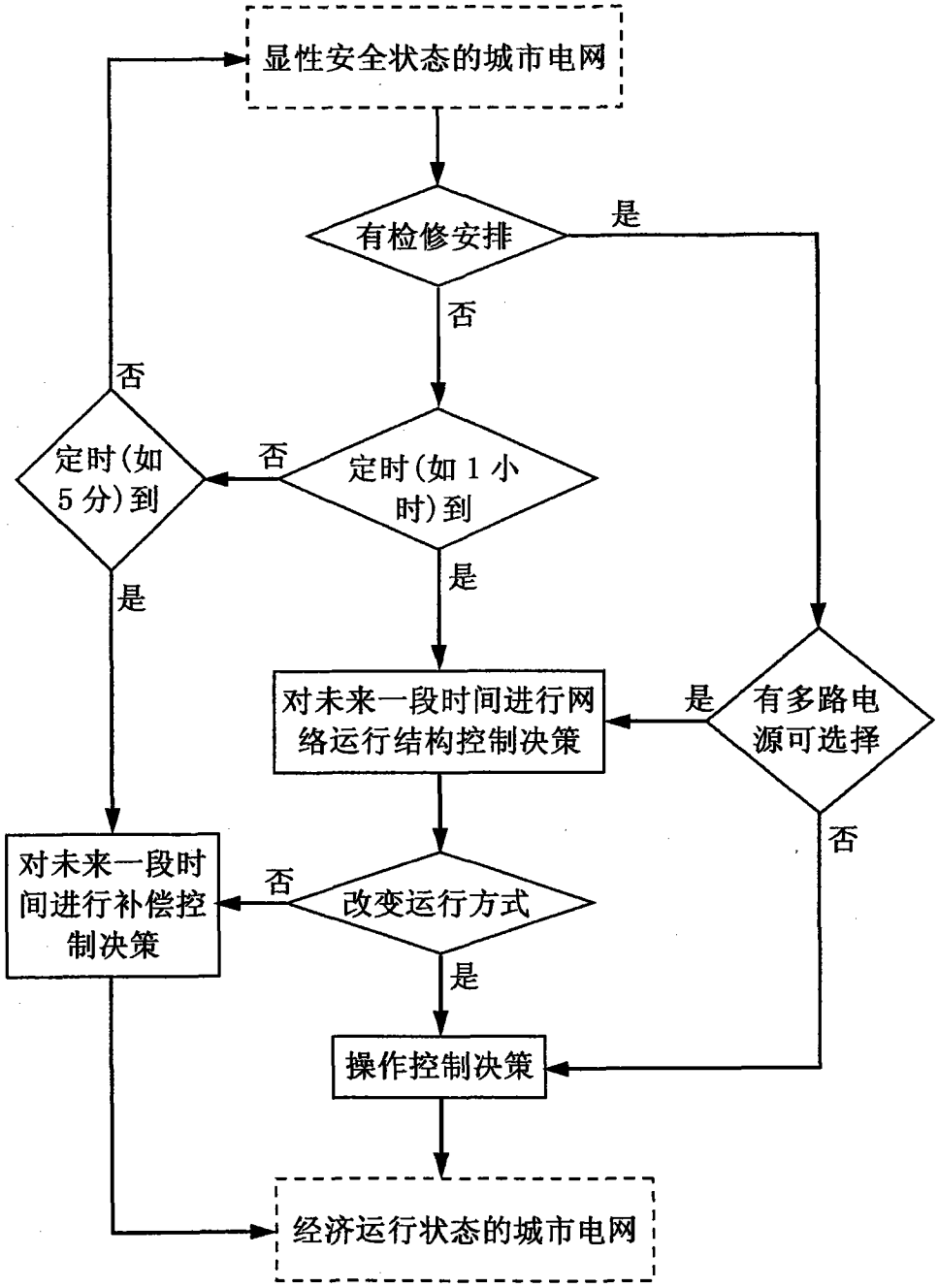

显性安全状态的城市电网
有检修安排
是
否
否
定时(如5分)到
否
定时(如1小时)到
是
是
对未来一段时间进行网络运行结构控制决策
是
有多路电源可选择
否
对未来一段时间进行补偿控制决策
否
改变运行方式
是
操作控制决策
经济运行状态的城市电网

图 6

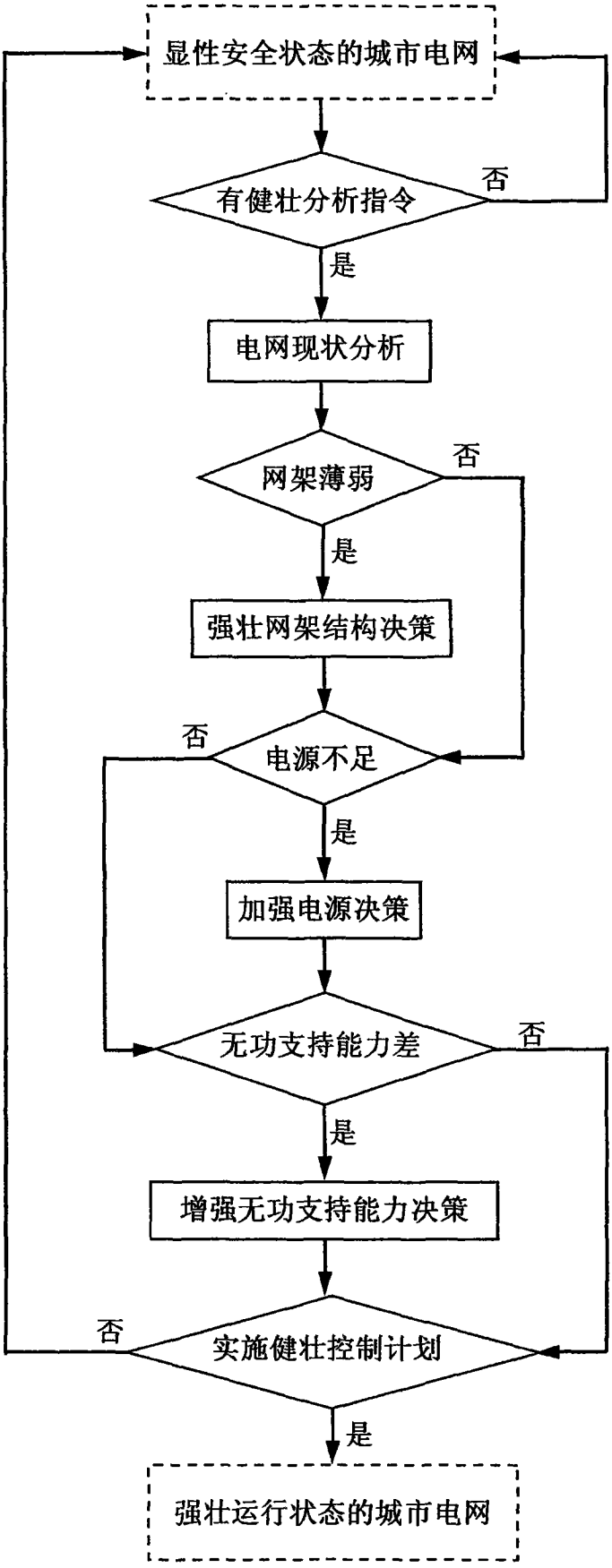

显性安全状态的城市电网
有健壮分析指令
否
是
电网现状分析
网架薄弱
否
是
强壮网架结构决策
电源不足
否
是
加强电源决策
无功支持能力差
否
是
增强无功支持能力决策
实施健壮控制计划
否
是
强壮运行状态的城市电网

图 7