



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104166940 B

(45)授权公告日 2017.08.29

(21)申请号 201410309585.5

(22)申请日 2014.07.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104166940 A

(43)申请公布日 2014.11.26

(73)专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

专利权人 国家电网公司

国网陕西省电力公司电力科学研究院

(72)发明人 施慎行 尚宇炜 董新洲 刘健

(74)专利代理机构 北京友联知识产权代理事务所(普通合伙) 11343

代理人 尚志峰 汪海屏

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

(56)对比文件

CN 101800426 A,2010.08.11,

CN 104103019 A,2014.10.15,

CN 101685968 A,2010.03.31,

CN 102708411 A,2012.10.03,

CN 103810533 A,2014.05.21,

郇嘉嘉.“电网设备状态检修策略的研究”.《中国博士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2012,(第11期),第C042-19页.

黄亮.“模拟电路故障诊断研究”.《中国博士学位论文全文数据库信息科技辑》.2014,(第1期),第I135-41页.

审查员 李平

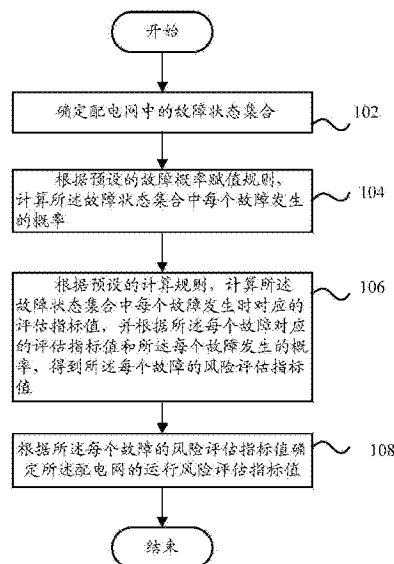
权利要求书6页 说明书24页 附图5页

(54)发明名称

配电网运行风险评估方法及评估系统

(57)摘要

本发明提供了一种配电网运行风险评估方法,包括:确定配电网中的故障状态集合;根据预设的故障概率赋值规则,计算所述故障状态集合中每个故障发生的概率;根据预设的计算规则,计算所述故障状态集合中每个故障发生时对应的评估指标值,并根据所述每个故障对应的评估指标值和所述每个故障发生的概率,得到所述每个故障的风险评估指标值;根据所述每个故障的风险评估指标值确定所述配电网的运行风险评估指标值。相应地,本发明还提出了一种配电网运行风险评估系统。通过本发明的技术方案,能够适应不同的实际需要,整合、提炼、分析配电网中的大量运行信息,增强对风险水平的掌控。



1. 一种配电网运行风险评估方法,其特征在于,包括:

确定配电网中的故障状态集合;

根据预设的故障概率赋值规则,计算所述故障状态集合中每个故障发生的概率;

根据预设的计算规则,计算所述故障状态集合中每个故障发生时对应的评估指标值,并根据所述每个故障对应的评估指标值和所述每个故障发生的概率,得到所述每个故障的风险评估指标值,其中,所述评估指标值包括整体运行指标值和单项运行指标值,所述整体运行指标值包括节点电压均值指标值,所述单项运行指标值包括节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值以及失负荷指标值;

根据所述每个故障的风险评估指标值确定所述配电网的运行风险评估指标值;

为所述评估指标值设置重要等级,以及

依据所述重要等级为所述评估指标值设置对应的权重值;

通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

所述预设处理方法包括:

根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$q(x)_{升} = \begin{cases} 0, x \leq B_{升} a_{max} \\ A_{升} (1 - e^{-k(x-a)^2}), B_{升} a_{max} < x \leq a_{max} \\ 1, a_{max} < x \end{cases}$$

第二预设公式为:

$$q(x)_{降} = \begin{cases} 0, B_{降} a_{min} \leq x \\ A_{降} (1 - e^{-k(x-a)^2}), a_{min} \leq x < B_{降} a_{min} \\ 1, x < a_{min} \end{cases}$$

其中,当评估指标为节点电压均值指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值、 a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{升}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $B_{升}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{降}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{降}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为线路传输过载指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为设备运行过载指标时, a_{\max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{\min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{\uparrow}$ 、 $q(x)_{\downarrow}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, A_{\uparrow} 、 A_{\downarrow} 、 B_{\uparrow} 、 B_{\downarrow} 均为设定值, 其中, A_{\uparrow} 、 A_{\downarrow} 用于放大函数值, 使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, B_{\uparrow} 、 B_{\downarrow} 用于设定容差大小;

当评估指标为失负荷指标时, a_{\max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{\uparrow}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, A_{\uparrow} 、 B_{\uparrow} 均为设定值, 其中, A_{\uparrow} 用于放大函数值, 使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, B_{\uparrow} 用于设定容差大小。

2. 根据权利要求1所述的配电网运行风险评估方法, 其特征在于, 所述预设的故障概率赋值规则具体包括:

将所述故障状态集合分为线路故障集和其他故障集, 将所述线路故障集发生的概率设置为第一概率, 将所述其他故障集发生的概率设置为第二概率, 其中, 所述第一概率与所述第二概率之和为1;

根据所述线路故障集对应的第一概率, 以及所述线路故障集中任一线路故障对应的任一线路的长度和所述线路故障集对应的所有线路的总长度之间的第一比值, 计算所述任一线路故障发生的概率; 以及

根据所述其他故障集对应的第二概率, 以及所述其他故障集中任一其他故障对应的长期运行统计概率与所述其他故障集对应的所有其他故障的总长期运行统计概率之间的第二比值, 计算所述任一其他故障发生的概率。

3. 根据权利要求1所述的配电网运行风险评估方法, 其特征在于, 所述节点电压均值指标值的计算公式为:

$$V(U_{avg}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{\uparrow\theta} \frac{U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}} - U_{\text{过电压临界值}}}{U_{\text{过电压临界值}}} + q(x)_{\downarrow\theta} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}}] \right\}$$

所述节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$V(U_{lower}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{\downarrow\theta} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}} \right)$$

所述节点电压过高越线指标值的计算公式为:

$$V(U_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{\uparrow\theta} \frac{U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}} - U_{\text{过电压临界值}}}{U_{\text{过电压临界值}}} \right)$$

其中, 在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中, U_{avg} 为节点电压的平均值, U_{over} 为节点电压高于过电压临界值时的电压, U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压, $q(x)_{\uparrow\theta}$ 、 $q(x)_{\downarrow\theta}$ 为节点电压的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备 i 发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备 i 的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备 i 故障状态下所有节点对应的编号, $U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值, $U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值, $U_{\text{过电压临界值}}$ 为预设的电压过高临界值, $U_{\text{低电压临界值}}$ 为预设的电压过低临界值;

所述线路传输过载指标值的计算公式为：

$$V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta计算值} - I_{线路\theta有效限额}}{I_{线路\theta有效限额}} \right)$$

其中，在所述线路传输过载指标值的计算公式中， L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率， $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值， p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号， $I_{过载线路\theta计算值}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率； $I_{线路\theta有效限额}$ 为线路的传输功率额定值；

所述设备运行过载指标值的计算公式为：

$$V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta计算值} - S_{设备\theta有效限额}}{S_{设备\theta有效限额}} \right)$$

其中，在所述设备运行过载指标值的计算公式中， E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率， $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值， p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有设备对应的编号， $S_{过载设备\theta计算值}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定值的设备的运行功率； $S_{设备\theta有效限额}$ 指设备的运行功率额定值；

所述失负荷指标值的计算公式为：

$$V(L_{loss})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{升} \frac{C_{当前容量} - C_{设计容量}}{C_{设计容量}}$$

其中，在所述失负荷指标值的计算公式中， θ 代表所指定的停运线路，通过假定所述停运线路故障停运，评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电， L_{loss} 为所述停运线路*\theta*退出时配电系统损失的负荷大小，*i*表示提供负荷转供的线路编号； W_i 为提供负荷转供的线路*i*的重要等级； $C_{当前容量}$ 为线路*i*提供负荷转供后传输的功率； $C_{设计容量}$ 为线路*i*的额定传输功率大小。

4. 一种配电网运行风险评估系统，其特征在于，包括：

确定单元，用于确定配电网中的故障状态集合；

第一计算单元，根据预设的故障概率赋值规则，计算所述故障状态集合中每个故障发生的概率；

第二计算单元，根据预设的计算规则，计算所述故障状态集合中每个故障时对应的评估指标值，用所述每个故障对应的评估指标值和所述每个故障发生的概率，得到所述每个故障的风险评估指标值，其中，所述评估指标值包括整体运行指标值和单项运行指标值，其中，所述整体运行指标值包括节点电压均值指标值，所述单项运行指标值包括节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值以及失负荷指标值；

第三计算单元，根据所述每个故障的风险评估指标值确定所述配电网的运行风险评估指标值；

第二设置单元，为所述评估指标值设置重要等级，以及

第三设置单元，依据所述重要等级为所述评估指标值设置对应的权重值；

临界数值处理单元,通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

所述预设处理方法包括:根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$q(x)_{升} = \begin{cases} 0, x \leq B_{升} a_{max} \\ A_{升} (1 - e^{-k(x-a)^2}), B_{升} a_{max} < x \leq a_{max} \\ 1, a_{max} < x \end{cases}$$

第二预设公式为:

$$q(x)_{降} = \begin{cases} 0, B_{降} a_{min} \leq x \\ A_{降} (1 - e^{-k(x-a)^2}), a_{min} \leq x < B_{降} a_{min} \\ 1, x < a_{min} \end{cases}$$

其中,当评估指标为节点电压均值指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值、 a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{升}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $B_{升}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{降}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{降}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为线路传输过载指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为设备运行过载指标时, a_{max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 用于设定容差大小;

当评估指标为失负荷指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{升}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{升}$ 、 $B_{升}$ 均为设定值,其中, $A_{升}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{升}$ 用于设定容差大小。

5. 根据权利要求4所述的配电网运行风险评估系统,其特征在于,所述第一计算单元具体用于:

将所述故障状态集合分为线路故障集和其他故障集,将所述线路故障集发生的概率设置为第一概率,将所述其他故障集发生的概率设置为第二概率,其中,所述第一概率与所述第二概率之和为1;

根据所述线路故障集对应的第一概率,以及所述线路故障集中任一线路故障对应的任一线路的长度和所述线路故障集对应的所有线路的总长度之间的第一比值,计算所述任一

线路故障发生的概率;以及

根据所述其他故障集对应的第二概率,以及所述其他故障集中任一其他故障对应的长期运行统计概率与所述其他故障集对应的所有其他故障的总长期运行统计概率之间的第二比值,计算所述任一其他故障发生的概率。

6. 根据权利要求4所述的配电网运行风险评估系统,其特征在于,

所述节点电压均值指标值的计算公式为:

$$V(U_{avg}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} + q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}}] \right\}$$

所述节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$V(U_{lower}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right)$$

所述节点电压过高越线指标值的计算公式为:

$$V(U_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} \right)$$

其中,在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中, U_{avg} 为节点电压的平均值, U_{over} 为节点电压高于过电压临界值时的电压, U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压, $q(x)_{升\theta}$ 、 $q(x)_{降\theta}$ 为节点电压的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有节点对应的编号, $U_{过电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值, $U_{低电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值, $U_{过电压临界值}$ 为预设的电压过高临界值, $U_{低电压临界值}$ 为预设的电压过低临界值;

所述线路传输过载指标值的计算公式为:

$$V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta计算值} - I_{线路\theta有效限额}}{I_{线路\theta有效限额}} \right)$$

其中,在所述线路传输过载指标值的计算公式中, L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率, $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号, $I_{过载线路\theta计算值}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率; $I_{线路\theta有效限额}$ 为线路的传输功率额定值;

所述设备运行过载指标值的计算公式为:

$$V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta计算值} - S_{设备\theta有效限额}}{S_{设备\theta有效限额}} \right)$$

其中,在所述设备运行过载指标值的计算公式中, E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率, $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备

i故障状态下所有设备对应的编号, $S_{\text{过载设备}\theta\text{计算值}}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定值的设备的运行功率; $S_{\text{设备}\theta\text{有效限额}}$ 指设备的运行功率额定值;

所述失负荷指标值的计算公式为:

$$V(L_{\text{loss}})_{\theta} = \sum_i W_i g(x)_{\text{升}} \frac{C_{\text{当前容量}} - C_{\text{设计容量}}}{C_{\text{设计容量}}}$$

其中,在所述失负荷指标值的计算公式中, θ 代表所指定的停运线路,通过假定所述停运线路故障停运,评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电, L_{loss} 为所述停运线路 θ 退出时配电系统损失的负荷大小, i 表示提供负荷转供的线路编号; W_i 为提供负荷转供的线路 i 的重要等级; $C_{\text{当前容量}}$ 为线路 i 提供负荷转供后传输的功率; $C_{\text{设计容量}}$ 为线路 i 的额定传输功率大小。

配电网运行风险评估方法及评估系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统技术领域,具体而言,涉及一种配电网运行风险评估方法和一种配电网运行风险评估系统。

背景技术

[0002] 电力系统风险评估按照其评估特点可以分为电力系统规划风险评估和电力系统运行风险评估。电力系统规划风险评估多用于分析不同规划方案的优劣,为电力系统规划和长期稳定运行提供指导意见;电力系统运行风险评估则是在已有电网基础上,利用系统实时运行的信息对当前和未来短时间内的系统运行风险给出评估和预警,运行风险评估已经应用在输电网中,取得了良好的实际效果。

[0003] 然而,与输电网相比,配电网在网络拓扑结构、运行方式、设备数量和运行调度重点关注的对象等方面均有不同,导致配电网与输电网的运行风险评估的方法也不同。近年来,我国的配电网规模越来越大,网络拓扑结构也越来越复杂,人们对配电网的供电可靠性、电能质量和服务质量提出的要求越来越高;另外,配电网包含分布式电源、微网和储能装置等,使配电网的功率分布状况容易改变,调度人员难以掌握投入、发出有功和无功功率的变化,使得对配电线路电压的调整控制十分困难,故障的发生可能改变预计的故障短路电流水平并影响电压与短路电流的分布,使得配电网的潜在运行风险大大增加。

[0004] 因此,需要一种新的技术方案,能够适应不同的实际需要,帮助调度人员整合、分析、提炼配电网中大量的运行信息,对于配电网的安全预警和稳定运行起到重要的指导作用,并在快速给出各项风险评估指标的同时,确保风险评估的精确度,增强对风险水平的掌控。

发明内容

[0005] 本发明正是基于上述问题,提出了一种新的技术方案,能够适应不同的实际需要,帮助调度人员整合、分析、提炼配电网中大量的运行信息,对于配电网的安全预警和稳定运行起到重要的指导作用,并在快速给出各项风险评估指标的同时,确保风险评估的精确度,增强对风险水平的掌控。

[0006] 有鉴于此,本发明提出了一种配电网运行风险评估方法,包括:确定配电网中的故障状态集合;根据预设的故障概率赋值规则,计算所述故障状态集合中每个故障发生的概率;根据预设的计算规则,计算所述故障状态集合中每个故障发生时对应的评估指标值,并根据所述每个故障对应的评估指标值和所述每个故障发生的概率,得到所述每个故障的风险评估指标值,其中,所述评估指标值包括整体运行指标值和单项运行指标值,所述整体运行指标值包括节点电压均值指标值,所述单项运行指标值包括节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值以及失负荷指标值;根据所述每个故障的风险评估指标值确定所述配电网的运行风险评估指标值。

[0007] 在该技术方案中,通过设置全新的故障概率赋值规则,利用故障枚举算法,遍历系

统的假想故障集,用故障的评估指标值乘以该故障发生的概率,快速计算出所有故障的风险评估指标值,叠加所得的风险评估指标值以得到配电网运行风险评估指标值,在保证了对风险评估的高速度的同时,也保证了评估的精确性,拓宽了实用范围,增强了对风险水平的掌控,提高了配电网的安全系数。

[0008] 其中,整体运行指标中的节点电压均值指标用于反映整个配电网运行过程中的电压平均水平以及配电网整体所处的风险程度。在单项运行指标中,节点电压过高越线指标用于反映运行系统中电压超过设定限额的风险,其体现的实际风险可能导致继电保护装置动作,或者导致部分电气元件损坏;电压过低越线指标用于反映运行系统中电压低于设定限额的风险,其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作、部分区域负荷过重需要切除或者分布式电源处于孤岛运行状态等;线路传输过载指标用于反映运行系统中线路传输的功率超过其可容纳限额的风险,其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作或部分区域的负荷过重;设备运行过载指标用于反映配电网中各变压器传输功率过载而发生损坏或引起自身继电保护动作的风险。失负荷指标,用于考核重要线路故障时,所对应的失电区域在保证各线路不超载的情况下能否转供并恢复供电。

[0009] 在上述技术方案中,优选地,所述预设的故障概率赋值规则具体包括:将所述故障状态集合分为线路故障集和其他故障集,将所述线路故障集发生的概率设置为第一概率,将所述其他故障集发生的概率设置为第二概率,其中,所述第一概率与所述第二概率之和为1;根据所述线路故障集对应的第一概率,以及所述线路故障集中任一线路故障对应的任一线路的长度和所述线路故障集对应的所有线路的总长度之间的第一比值,计算所述任一线路故障发生的概率;以及根据所述其他故障集对应的第二概率,以及所述其他故障集中任一其他故障对应的长期运行统计概率与所述其他故障集对应的所有其他故障的总长期运行统计概率之间的第二比值,计算所述任一其他故障发生的概率。

[0010] 在该技术方案中,提出了一种故障概率赋值规则,使风险评估指标在配电网的不同运行时刻、不同运行拓扑下具有较强的可比性。对于故障发生的概率进行赋值的传统做法是按照该元件的长期故障统计数据进行赋值,这就导致配电网在不同运行时刻、不同运行拓扑下的故障概率总和不同,然而配电网的网络运行拓扑结构十分灵活,在不同时刻下,系统的总故障概率不相同会导致无法精确比较风险评估指标。因此,在本发明中,设置发生故障的概率之和始终为1,即认为任意时刻下配电网不可能绝对安全,另外,对于不同的网络拓扑,通过设置总的故障概率之和为固定值1,使风险评估指标在不同网络拓扑下仍具有可比性,因而较好地反映出配电网运行风险的趋势。同时,在我国的配电网,尤其是城市配电网中,地下电缆正逐步取代架空线路,部分城市已经实现了80%以上的地下电缆覆盖率,地下电缆受到天气等条件的影响较小,其线路故障概率相对固定,用均匀分布模拟其线路故障概率具有较高的精确度。

[0011] 在上述技术方案中,优选地,为所述评估指标值设置重要等级,以及依据所述重要等级为所述评估指标值设置对应的权重值。

[0012] 在该技术方案中,为评估指标设置重要等级,可以使配电网在不同运行时间和/或者不同拓扑结构下能够灵活修改各个评估指标的重要等级和对应权重。不同的配电网由于面向的终端客户不同,即便是同一配电网在不同运行时刻也可能具有不同的管理目标,例如,在用户参与重大社会活动时,配电网会重点关注对该用户供电的可靠性,另外,即便是

配电网的运行状况完全相同,由于不同的外部和/或内部因素,仍会导致配电网具有不同的风险程度。因此,灵活设定评估指标的重要等级,可以适应配电网实际运行的需要,增加了配电网评估的实用性。

[0013] 在上述技术方案中,优选地,通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

[0014] 所述预设处理方法包括:根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$[0015] \quad q(x)_{\text{升}} = \begin{cases} 0, & x \leq B_{\text{升}} a_{\text{max}} \\ A_{\text{升}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & B_{\text{升}} a_{\text{max}} < x \leq a_{\text{max}} \\ 1, & a_{\text{max}} < x \end{cases}$$

[0016] 第二预设公式为:

$$[0017] \quad q(x)_{\text{降}} = \begin{cases} 0, & B_{\text{降}} a_{\text{min}} \leq x \\ A_{\text{降}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & a_{\text{min}} \leq x < B_{\text{降}} a_{\text{min}} \\ 1, & x < a_{\text{min}} \end{cases}$$

[0018] 其中,当评估指标为节点电压指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值、 a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0019] 当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小;

[0020] 当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0021] 当评估指标为线路传输过载指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0022] 当评估指标为设备运行过载指标时, a_{max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0023] 当评估指标为失负荷指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小。

[0024] 在该技术方案中,以节点电压过高越线指标为例,最终选择出的节点越限电压是与设定的临界值进行比较得到的,当某节点电压接近并低于临界值时,传统的方法一般判

定该电压正常,对电压过高越线指标没有贡献,然而该节点电压虽低于临界点,但位于临界点附近,该电压相对其他节点电压对最终的电压过高越线指标的贡献权重虽然稍低,但确实也有少量贡献,简单地舍去它会降低计算精度,显然是不合理的,故而通过模糊数学中隶属函数确定方法解决上述问题,可以保证风险评估的精确度。

[0025] 在上述技术方案中,优选地,所述节点电压均值指标值的计算公式为:

$$[0026] \quad V(U_{avg}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} + \right.$$

$$[0027] \quad \left. q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right\}$$

[0028] 所述节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$[0029] \quad V(U_{lower}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right)$$

[0030] 所述节点电压过高越线指标值的计算公式为:

$$[0031] \quad V(U_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} \right)$$

[0032] 其中,在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中, U_{avg} 为节点电压的平均值, U_{over} 为所述节点电压高于过电压临界值时的电压, U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压, $q(x)_{升\theta}$ 、 $q(x)_{降\theta}$ 为节点电压的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有节点对应的编号, $U_{过电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值, $U_{低电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值, $U_{过电压临界值}$ 为预设的电压过高临界值, $U_{低电压临界值}$ 为预设的电压过低临界值;

[0033] 所述线路传输过载指标值的计算公式为:

$$[0034] \quad V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta计算值} - I_{线路\theta有效限额}}{I_{线路\theta有效限额}} \right)$$

[0035] 其中,在所述线路传输过载指标值的计算公式中, L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率, $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号, $I_{过载线路\theta计算值}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率; $I_{线路\theta有效限额}$ 为线路的传输功率额定值;

[0036] 所述设备运行过载指标值的计算公式为:

$$[0037] \quad V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta计算值} - S_{设备\theta有效限额}}{S_{设备\theta有效限额}} \right)$$

[0038] 其中,在所述设备运行过载指标值的计算公式中, E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率, $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值, p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有设备对应的编号, $S_{过载设备\theta计算值}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定

值的设备的运行功率； $S_{设备有效限额}$ 指设备的运行功率额定值；

[0039] 所述失负荷指标值的计算公式为：

$$[0040] \quad V(L_{loss})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{升} \frac{C_{i当前容量} - C_{i设计容量}}{C_{i设计容量}}$$

[0041] 其中，在所述失负荷指标值的计算公式中， θ 代表所指定的停运线路，通过假定所述停运线路故障停运，评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电， L_{loss} 为所述停运线路 θ 退出时配电系统损失的负荷大小， i 表示提供负荷转供的线路编号； W_i 为提供负荷转供的线路 i 的重要等级； $C_{i当前容量}$ 为线路 i 提供负荷转供后传输的功率； $C_{i设计容量}$ 为线路 i 的额定传输功率大小。

[0042] 在该技术方案中，对故障状态集合中的所有故障进行遍历，计算所有故障的节点电压均值指标值、节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值，将故障状态集合中每个故障的风险评估指标值相加，就可以得出配电网运行风险评估指标值。这样，可以快速精确地给出各故障的详细的各项风险评估指标，大大提高的配电网风险评估的精确度，另外，还可以根据不同实际需要，灵活修改各个故障的各个风险评估指标的重要等级，大大提高了配电网风险评估的实用性和灵活性，拓宽了实用范围，增强了对风险水平的掌控，提高了配电网的安全系数。

[0043] 根据本发明的另一方面，还提供了一种配电网运行风险评估系统，包括：确定单元，用于确定配电网中的故障状态集合；第一计算单元，根据预设的故障概率赋值规则，计算所述故障状态集合中每个故障发生的概率；第二计算单元，根据预设的计算规则，计算所述故障状态集合中每个故障时对应的评估指标值，用所述每个故障对应的评估指标值和所述每个故障发生的概率，得到所述每个故障的风险评估指标值，其中，所述评估指标值包括整体运行指标值和单项运行指标值，其中，所述整体运行指标值包括节点电压均值指标值，所述单项运行指标值包括节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值以及失负荷指标值；第三计算单元，根据所述每个故障的风险评估指标值确定所述配电网的运行风险评估指标值。

[0044] 在该技术方案中，通过设置全新的故障概率赋值规则，利用故障枚举算法，遍历系统的假想故障集，用故障的评估指标值乘以该故障发生的概率，快速计算出所有故障的风险评估指标值，叠加所得的风险评估指标值以得到配电网运行风险评估指标值，在保证了对风险评估的高速度的同时，也保证了评估的精确性，拓宽了实用范围，增强了对风险水平的掌控，提高了配电网的安全系数。

[0045] 其中，整体运行指标中的节点电压均值指标用于反映整个配电网运行过程中的电压平均水平以及配电网整体所处的风险程度。在单项运行指标中，节点电压过高越线指标用于反映运行系统中电压超过设定限额的风险，其体现的实际风险可能导致继电保护装置动作，或者导致部分电气元件损坏；电压过低越线指标用于反映运行系统中电压低于设定限额的风险，其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作、部分区域负荷过重需要切除或者分布式电源处于孤岛运行状态等；线路传输过载指标用于反映运行系统中线路传输的功率超过其可容纳限额的风险，其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作或部分区域的负荷过重；设备运行过载指标用于反映配电网中各变压器传输功率过载而发生损坏或引起自身继电保护动作的风险。失负荷指标，用于考核重要线路故障时，所对应的失电区

域在保证各线路不超载的情况下能否转供并恢复供电。

[0046] 在上述技术方案中,优选地,所述第一计算单元具体用于:将所述故障状态集合分为线路故障集和其他故障集,将所述线路故障集发生的概率设置为第一概率,将所述其他故障集发生的概率设置为第二概率,其中,所述第一概率与所述第二概率之和为1;根据所述线路故障集对应的第一概率,以及所述线路故障集中任一线路故障对应的任一线路的长度和所述线路故障集对应的所有线路的总长度之间的第一比值,计算所述任一线路故障发生的概率;以及根据所述其他故障集对应的第二概率,以及所述其他故障集中任一其他故障对应的长期运行统计概率与所述其他故障集对应的所有其他故障的总长期运行统计概率之间的第二比值,计算所述任一其他故障发生的概率。

[0047] 在该技术方案中,提出了一种故障概率赋值规则,使风险评估指标在配电网的不同运行时刻、不同运行拓扑下具有较强的可比性。对于故障发生的概率进行赋值的传统做法是按照该元件的长期故障统计数据进行赋值,这就导致配电网在不同运行时刻、不同运行拓扑下的故障概率总和不同,然而配电网的网络运行拓扑结构十分灵活,在不同时刻下,系统的总故障概率不相同会导致无法精确比较风险评估指标。因此,在本发明中,设置发生故障的概率之和始终为1,即认为任意时刻下配电网不可能绝对安全,另外,对于不同的网络拓扑,通过设置总的故障概率之和为固定值1,使风险评估指标在不同网络拓扑下仍具有可比性,因而较好地反映出配电网运行风险的趋势。同时,在我国的配电网,尤其是城市配电网中,地下电缆正逐步取代架空线路,部分城市已经实现了80%以上的地下电缆覆盖率,地下电缆受到天气等条件的影响较小,其线路故障概率相对固定,用均匀分布模拟其线路故障概率具有较高的精确度。

[0048] 在上述技术方案中,优选地,还包括:第二设置单元,为所述评估指标值设置重要等级,以及第三设置单元,依据所述重要等级为所述评估指标值设置对应的权重值。

[0049] 在该技术方案中,为评估指标设置重要等级,可以使配电网在不同运行时间和/或者不同拓扑结构下能够灵活修改各个评估指标的重要等级和对应权重。不同的配电网由于面向的终端客户不同,即便是同一配电网在不同运行时刻也可能具有不同的管理目标,例如,在用户参与重大社会活动时,配电网会重点关注对该用户供电的可靠性,另外,即便是配电网的运行状况完全相同,由于不同的外部和/或内部因素,仍会导致配电网具有不同的风险程度。因此,灵活设定评估指标的重要等级,可以适应配电网实际运行的需要,增加了配电网评估的实用性。

[0050] 在上述技术方案中,优选地,还包括:临界数值处理单元,通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

[0051] 所述预设处理方法包括:根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$[0052] \quad q(x)_{\text{并}} = \begin{cases} 0, & x \leq B_{\text{并}} a_{\text{max}} \\ A_{\text{并}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & B_{\text{并}} a_{\text{max}} < x \leq a_{\text{max}} \\ 1, & a_{\text{max}} < x \end{cases}$$

[0053] 第二预设公式为:

$$[0054] \quad q(x)_{\text{降}} = \begin{cases} 0, & B_{\text{降}} a_{\text{min}} \leq x \\ A_{\text{降}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & a_{\text{min}} \leq x < B_{\text{降}} a_{\text{min}} \\ 1, & x < a_{\text{min}} \end{cases}$$

[0055] 其中,当评估指标为节点电压均值指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值、 a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0056] 当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小;

[0057] 当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0058] 当评估指标为线路传输过载指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0059] 当评估指标为设备运行过载指标时, a_{max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0060] 当评估指标为失负荷指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小。

[0061] 在该技术方案中,以节点电压过高越线指标为例,最终选择出的节点越限电压是与设定的临界值进行比较得到的,当某节点电压接近并低于临界值时,传统的方法一般判定该电压正常,对电压过高越线指标没有贡献,然而该节点电压虽低于临界点,但位于临界点附近,该电压相对其他节点电压对最终的电压过高越线指标的贡献权重虽然稍低,但确实也有少量贡献,简单地舍去它会降低计算精度,显然是不合理的,故而通过模糊数学中隶属函数确定方法解决上述问题,可以保证风险评估的精确度。

[0062] 在上述技术方案中,优选地,所述节点电压均值指标值的计算公式为:

$$[0063] \quad V(U_{\text{avg}}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{\text{升},\theta} \frac{U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}} - U_{\text{过电压临界值}}}{U_{\text{过电压临界值}}} + \right.$$

$$[0064] \quad \left. q(x)_{\text{降},\theta} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}} \right\}$$

[0065] 所述节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$[0066] \quad V(U_{\text{lower}}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{\text{降},\theta} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}} \right)$$

[0067] 所述节点电压过高越线指标值的计算公式为：

$$[0068] \quad V(U_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} \right)$$

[0069] 其中，在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中， U_{avg} 为节点电压的平均值， U_{over} 为节点电压高于过电压临界值时的电压， U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压， $q(x)_{升\theta}$ 、 $q(x)_{降\theta}$ 为节点电压的权重值， p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有节点对应的编号， $U_{过电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值， $U_{低电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值， $U_{过电压临界值}$ 为预设的电压过高临界值， $U_{低电压临界值}$ 为预设的电压过低临界值；

[0070] 所述线路传输过载指标值的计算公式为：

$$[0071] \quad V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta计算值} - I_{线路\theta有效限额}}{I_{线路\theta有效限额}} \right)$$

[0072] 其中，在所述线路传输过载指标值的计算公式中， L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率， $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值， p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号， $I_{过载线路\theta计算值}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率； $I_{线路\theta有效限额}$ 为线路的传输功率额定值；

[0073] 所述设备运行过载指标值的计算公式为：

$$[0074] \quad V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta计算值} - S_{设备\theta有效限额}}{S_{设备\theta有效限额}} \right)$$

[0075] 其中，在所述设备运行过载指标值的计算公式中， E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率， $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值， p_i 为所述故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有设备对应的编号， $S_{过载设备\theta计算值}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定值的设备的运行功率； $S_{设备\theta有效限额}$ 指设备的运行功率额定值；

[0076] 所述失负荷指标值的计算公式为：

$$[0077] \quad V(L_{loss})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{升} \frac{C_{i当前容量} - C_{i设计容量}}{C_{i设计容量}}$$

[0078] 其中，在所述失负荷指标值的计算公式中， θ 代表所指定的停运线路，通过假定所述停运线路故障停运，评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电， L_{loss} 为所述停运线路*θ*退出时配电系统损失的负荷大小，*i*表示提供负荷转供的线路编号； W_i 为提供负荷转供的线路*i*的重要等级； $C_{i当前容量}$ 为线路*i*提供负荷转供后传输的功率； $C_{i设计容量}$ 为线路*i*的额定传输功率大小。

[0079] 在该技术方案中，对故障状态集合中的所有故障进行遍历，计算所有故障的节点电压均值指标值、节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值，将故障状态集合中每个故障的风险评估指标值相加，就可以得

出配电网运行风险评估指标值。这样,可以快速精确地给出各故障的详细的各项风险评估指标,大大提高的配电网风险评估的精确度,另外,还可以根据不同实际需要,灵活修改各个故障的各个风险评估指标的重要等级,大大提高了配电网风险评估的实用性和灵活性,拓宽了实用范围,增强了对风险水平的掌控,提高了配电网的安全系数。

[0080] 通过以上技术方案,能够根据不同配电网或同一配电网在不同运行时间的实际需要,可以灵活修改各个风险指标的重要等级,并能够分别从整体和/或单项指标给出系统的风险水平,帮助调度人员整合、分析、提炼配电网中大量的运行信息,对于配电网的安全预警和稳定运行起到重要的指导作用,并在快速给出各项风险评估指标的同时,确保风险评估的精确度,增强对风险水平的掌控。

附图说明

[0081] 图1示出了根据本发明的实施例的配电网运行风险评估方法的流程图;

[0082] 图2示出了根据本发明的实施例的配电网运行风险评估方法的具体流程图;

[0083] 图3示出了根据本发明的实施例的配电网运行风险评估装置的框图;

[0084] 图4示出了根据本发明的另一个实施例的配电网运行风险评估方法的计算流程图;

[0085] 图5示出了根据本发明的另一个实施例的配电网运行风险评估方法的配电网33节点配电系统示意图。

具体实施方式

[0086] 为了能够更清楚地理解本发明的上述目的、特征和优点,下面结合附图和具体实施方式对本发明进行进一步的详细描述。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0087] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是,本发明还可以采用其他不同于在此描述的方式来实施,因此,本发明的保护范围并不受下面公开的具体实施例的限制。

[0088] 图1示出了根据本发明的实施例的配电网运行风险评估方法的流程图。

[0089] 如图1所示,根据本发明的实施例的配电网运行风险评估方法,包括以下步骤:

[0090] 步骤102,确定配电网中的故障状态集合;

[0091] 步骤104,根据预设的故障概率赋值规则,计算故障状态集合中每个故障发生的概率;

[0092] 步骤106,根据预设的计算规则,计算故障状态集合中每个故障发生时对应的评估指标值,并根据每个故障对应的评估指标值和每个故障发生的概率,得到每个故障的风险评估指标值;

[0093] 步骤108,根据每个故障的风险评估指标值确定配电网的运行风险评估指标值。

[0094] 在该技术方案中,通过设置全新的故障概率赋值规则,利用故障枚举算法,遍历系统的假想故障集,用故障的评估指标值乘以该故障发生的概率,快速计算出所有故障的风险评估指标值,叠加所得的风险评估指标值以得到配电网运行风险评估指标值,在保证了对风险评估的高速度的同时,也保证了评估的精确性,拓宽了实用范围,增强了对风险水平的

掌控,提高了配电网的安全系数。

[0095] 其中,整体运行指标中的节点电压均值指标用于反映整个配电网运行过程中的电压平均水平以及配电网整体所处的风险程度。在单项运行指标中,节点电压过高越线指标用于反映运行系统中电压超过设定限额的风险,其体现的实际风险可能导致继电保护装置动作,或者导致部分电气元件损坏;电压过低越线指标用于反映运行系统中电压低于设定限额的风险,其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作、部分区域负荷过重需要切除或者分布式电源处于孤岛运行状态等;线路传输过载指标用于反映运行系统中线路传输的功率超过其可容纳限额的风险,其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作或部分区域的负荷过重;设备运行过载指标用于反映配电网中各变压器传输功率过载而发生损坏或引起自身继电保护动作的风险。失负荷指标,用于考核重要线路故障时,所对应的失电区域在保证各线路不超载的情况下能否转供并恢复供电。

[0096] 在上述技术方案中,优选地,预设的故障概率赋值规则具体包括:将故障状态集合分为线路故障集和其他故障集,将线路故障集发生的概率设置为第一概率,将其他故障集发生的概率设置为第二概率,其中,第一概率与第二概率之和为1;根据线路故障集对应的第一概率,以及线路故障集中任一线路故障对应的任一线路的长度和线路故障集对应的所有线路的总长度之间的第一比值,计算任一线路故障发生的概率;以及根据其他故障集对应的第二概率,以及其他故障集中任一其他故障对应的长期运行统计概率与其他故障集对应的所有其他故障的总长期运行统计概率之间的第二比值,计算任一其他故障发生的概率。

[0097] 在该技术方案中,提出了一种故障概率赋值规则,使风险评估指标在配电网的不同运行时刻、不同运行拓扑下具有较强的可比性。对于故障发生的概率进行赋值的传统做法是按照该元件的长期故障统计数据进行赋值,这就导致配电网在不同运行时刻、不同运行拓扑下的故障概率总和不同,然而配电网的网络运行拓扑结构十分灵活,在不同时刻下,系统的总故障概率不相同会导致无法精确比较风险评估指标。因此,在本发明中,设置发生故障的概率之和始终为1,即认为任意时刻下配电网不可能绝对安全,另外,对于不同的网络拓扑,通过设置总的故障概率之和为固定值1,使风险评估指标在不同网络拓扑下仍具有可比性,因而较好地反映出配电网运行风险的趋势。同时,在我国的配电网,尤其是城市配电网中,地下电缆正逐步取代架空线路,部分城市已经实现了80%以上的地下电缆覆盖率,地下电缆受到天气等条件的影响较小,其线路故障概率相对固定,用均匀分布模拟其线路故障概率具有较高的精确度。

[0098] 在上述技术方案中,优选地,为评估指标值设置重要等级,以及依据重要等级为评估指标值设置对应的权重值。

[0099] 在该技术方案中,为评估指标设置重要等级,可以使配电网在不同运行时间和/或者不同拓扑结构下能够灵活修改各个评估指标的重要等级和对应权重。不同的配电网由于面向的终端客户不同,即便是同一配电网在不同运行时刻也可能具有不同的管理目标,例如,在用户参与重大社会活动时,配电网会重点关注对该用户供电的可靠性,另外,即便是配电网的运行状况完全相同,由于不同的外部和/或内部因素,仍会导致配电网具有不同的风险程度。因此,灵活设定评估指标的重要等级,可以适应配电网实际运行的需要,增加了配电网评估的实用性。

[0100] 在上述技术方案中,优选地,通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

[0101] 所述预设处理方法包括:根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$[0102] \quad q(x)_{\text{升}} = \begin{cases} 0, & x \leq B_{\text{升}} a_{\text{max}} \\ A_{\text{升}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & B_{\text{升}} a_{\text{max}} < x \leq a_{\text{max}} \\ 1, & a_{\text{max}} < x \end{cases}$$

[0103] 第二预设公式为:

$$[0104] \quad q(x)_{\text{降}} = \begin{cases} 0, & B_{\text{降}} a_{\text{min}} \leq x \\ A_{\text{降}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & a_{\text{min}} \leq x < B_{\text{降}} a_{\text{min}} \\ 1, & x < a_{\text{min}} \end{cases}$$

[0105] 其中,当评估指标为节点电压均值指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值、 a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0106] 当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小;

[0107] 当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0108] 当评估指标为线路传输过载指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0109] 当评估指标为设备运行过载指标时, a_{max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0110] 当评估指标为失负荷指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小。

[0111] 在该技术方案中,以节点电压过高越线指标为例,最终选择出的节点越限电压是与设定的临界值进行比较得到的,当某节点电压接近并低于临界值时,传统的方法一般判定该电压正常,对电压过高越线指标没有贡献,然而该节点电压虽低于临界点,但位于临界点附近,该电压相对其他节点电压对最终的电压过高越线指标的贡献权重虽然稍低,但确实也有少量贡献,简单地舍去它会降低计算精度,显然是不合理的,故而通过模糊数学中隶属函数确定方法解决上述问题,可以保证风险评估的精确度。

[0112] 在上述技术方案中,优选地,节点电压均值指标值的计算公式为:

$$[0113] \quad V(U_{avg}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} + \right.$$

$$[0114] \quad \left. q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right\}$$

[0115] 节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$[0116] \quad V(U_{lower}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right)$$

[0117] 节点电压过高越线指标值的计算公式为:

$$[0118] \quad V(U_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} \right)$$

[0119] 其中,在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中, U_{avg} 为节点电压的平均值, U_{over} 为节点电压高于过电压临界值时的电压, U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压, $q(x)_{升\theta}$ 、 $q(x)_{降\theta}$ 为节点电压的权重值, p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有节点对应的编号, $U_{过电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值, $U_{低电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值, $U_{过电压临界值}$ 为预设的电压过高临界值, $U_{低电压临界值}$ 为预设的电压过低临界值;

[0120] 线路传输过载指标值的计算公式为:

$$[0121] \quad V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta计算值} - I_{线路\theta有效限额}}{I_{线路\theta有效限额}} \right)$$

[0122] 其中,在所述线路传输过载指标值的计算公式中, L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率, $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值, p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号, $I_{过载线路\theta计算值}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率; $I_{线路\theta有效限额}$ 为线路的传输功率额定值;

[0123] 设备运行过载指标值的计算公式为:

$$[0124] \quad V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta计算值} - S_{设备\theta有效限额}}{S_{设备\theta有效限额}} \right)$$

[0125] 其中,在所述设备运行过载指标值的计算公式中, E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率, $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值, p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在任一线路或设备*i*故障状态下所有设备对应的编号, $S_{过载设备\theta计算值}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定值的设备的运行功率; $S_{设备\theta有效限额}$ 指设备的运行功率额定值;

[0126] 所述失负荷指标值的计算公式为:

$$[0127] \quad V(L_{\text{loss}})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{\text{升}} \frac{C_{i\text{当前容量}} - C_{i\text{设计容量}}}{C_{i\text{设计容量}}}$$

[0128] 其中,在所述失负荷指标值的计算公式中, θ 代表所指定的停运线路,通过假定所述停运线路故障停运,评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电, L_{loss} 为所述停运线路 θ 退出时配电系统损失的负荷大小, i 表示提供负荷转供的线路编号; W_i 为提供负荷转供的线路 i 的重要等级; $C_{i\text{当前容量}}$ 为线路 i 提供负荷转供后传输的功率; $C_{i\text{设计容量}}$ 为线路 i 的额定传输功率大小。

[0129] 在该技术方案中,对故障状态集合中的所有故障进行遍历,计算所有故障的节点电压均值指标值、节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值,将故障状态集合中每个故障的风险评估指标值相加,就可以得出配电网运行风险评估指标值。这样,可以快速精确地给出各故障的详细的各项风险评估指标,大大提高的配电网风险评估的精确度,另外,还可以根据不同实际需要,灵活修改各个故障的各个风险评估指标的重要等级,大大提高了配电网风险评估的实用性和灵活性,拓宽了实用范围,增强了对风险水平的掌控,提高了配电网的安全系数。

[0130] 图2示出了根据本发明的实施例的配电网运行风险评估方法的具体流程图。

[0131] 如图2所示,根据本发明的实施例的配电网运行风险评估方法,具体包括以下步骤:

[0132] 步骤202,确定故障状态集合和故障概率赋值规则;

[0133] 步骤204,根据故障概率赋值规则,将线路故障发生的概率和其他故障发生的概率分别赋值为 p 、 q ,令 $p+q=1$,即设置总的故障概率之和为固定值1,使风险评估指标在不同网络拓扑下仍具有可比性;

[0134] 步骤206,判断故障 i 是否为线路故障,当判断结果为是时,进入步骤208,当判断结果为否时,故障 i 为其他故障,进入步骤210;

[0135] 步骤208,令故障状态集合中所有线路故障元素对应的线路总长度为 L_{sum} ,测得故障 i 所在的线路的长度为 L_i ,则故障 i 发生的概率为 $p_i = pL_i/L_{\text{sum}}$;

[0136] 步骤210,设其他故障中包含 m 个可能发生故障的元件,将该 m 个元件的单重故障概率分别记为 q_1 、 q_2 、 \dots 、 q_m ,同时,通过元件制造说明书或者对该 m 个元件的长期观测,将该 m 个元件发生故障的长期运行统计概率记为 a_1 、 a_2 、 \dots 、 a_m ,则故障 i ($i \in m$) 发生的概率为

$$q_i = q \frac{a_i}{\sum_{i=1}^m a_i};$$

[0137] 步骤212,为评估指标设置重要等级,包括特别重要、比较重要和重要,并依据重要等级为评估指标设置对应的权重值,将特别重要、比较重要、重要对应的权重值分别设置为5、2、1;

[0138] 步骤214,通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

[0139] 所述预设处理方法包括:根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$[0140] \quad q(x)_{\text{升}} = \begin{cases} 0, & x \leq B_{\text{升}} a_{\text{max}} \\ A_{\text{升}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & B_{\text{升}} a_{\text{max}} < x \leq a_{\text{max}} \\ 1, & a_{\text{max}} < x \end{cases}$$

[0141] 第二预设公式为:

$$[0142] \quad q(x)_{\text{降}} = \begin{cases} 0, & B_{\text{降}} a_{\text{min}} \leq x \\ A_{\text{降}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & a_{\text{min}} \leq x < B_{\text{降}} a_{\text{min}} \\ 1, & x < a_{\text{min}} \end{cases}$$

[0143] 其中,当评估指标为节点电压均值指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值、 a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0144] 当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小;

[0145] 当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0146] 当评估指标为线路传输过载指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0147] 当评估指标为设备运行过载指标时, a_{max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0148] 当评估指标为失负荷指标时, a_{max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小。

[0149] 步骤216,分别计算故障*i*的评估指标值,评估指标值包括节点电压均值指标值、节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和/或设备运行过载指标值:

[0150] 节点电压均值指标值的计算公式为:

$$[0151] \quad V(U_{\text{avg}}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{\text{升}_{\theta}} \frac{U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}} - U_{\text{过电压临界值}}}{U_{\text{过电压临界值}}} + \right.$$

$$[0152] \quad \left. q(x)_{\text{降}_{\theta}} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}} \right\}$$

[0153] 节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$[0154] \quad V(U_{lower}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right)$$

[0155] 节点电压过高越线指标值的计算公式为：

$$[0156] \quad V(U_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} \right)$$

[0157] 其中，在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中， U_{avg} 为节点电压的平均值， U_{over} 为节点电压高于过电压临界值时的电压， U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压， $q(x)_{升\theta}$ 、 $q(x)_{降\theta}$ 为节点电压的权重值， p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有节点对应的编号， $U_{过电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值， $U_{低电压节点\theta计算值}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值， $U_{过电压临界值}$ 为预设的电压过高临界值， $U_{低电压临界值}$ 为预设的电压过低临界值；

[0158] 线路传输过载指标值的计算公式为：

$$[0159] \quad V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta计算值} - I_{线路\theta有效限额}}{I_{线路\theta有效限额}} \right)$$

[0160] 其中，在所述线路传输过载指标值的计算公式中， L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率， $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值， p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号， $I_{过载线路\theta计算值}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率； $I_{线路\theta有效限额}$ 为线路的传输功率额定值，

[0161] 设备运行过载指标值的计算公式为：

$$[0162] \quad V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta计算值} - S_{设备\theta有效限额}}{S_{设备\theta有效限额}} \right)$$

[0163] 其中，在所述设备运行过载指标值的计算公式中， E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率， $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值， p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率， W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级， θ 为在任一线路或设备*i*故障状态下所有设备对应的编号， $S_{过载设备\theta计算值}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定值的设备的运行功率； $S_{设备\theta有效限额}$ 指设备的运行功率额定值；

[0164] 所述失负荷指标值的计算公式为：

$$[0165] \quad V(L_{loss})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{升} \frac{C_{i当前容量} - C_{i设计容量}}{C_{i设计容量}}$$

[0166] 其中，在所述失负荷指标值的计算公式中， θ 代表所指定的停运线路，通过假定所述停运线路故障停运，评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电， L_{loss} 为所述停运线路*θ*退出时配电系统损失的负荷大小， i 表示提供负荷转供的线路编号； W_i 为提供负荷转供的线路*i*的重要等级； $C_{i当前容量}$ 为线路*i*提供负荷转供后传输的功率； $C_{i设计容量}$ 为线路*i*的额定传输功率大小。

[0167] 步骤218，用故障*i*的评估指标值乘以故障*i*发生的概率，得到故障*i*的最终风险评

估指标值:

$$[0168] \quad R_{\text{risk}}(x, t) = \sum p_i \times V_i$$

[0169] 其中, $R_{\text{risk}}(x, t)$ 是指在 t 时刻下, 对于指标 x 的风险评估数值, x 可以是节点电压均值指标、节点电压过高越线指标、节点电压过低越线指标、线路传输过载指标和/或设备运行过载指标, p_i 为发生故障 i 的概率; V_i 为发生故障 i 后, 故障 i 对系统造成的严重程度大小, 即各种风险评估指标值, 包括节点电压均值指标值 $V(U_{\text{avg}})$ 、节点电压过高越线指标值 $V(U_{\text{over}})$ 、节点电压过低越线指标值 $V(U_{\text{lower}})$ 、线路传输过载指标值 $V(L_{\text{over}})$ 和/或设备运行过载指标值 $V(E_{\text{over}})$;

[0170] 步骤220, 对故障状态集合中的所有故障进行遍历, 当对所有故障历遍完成后, 将每个故障的风险评估指标值相加, 得到配电网运行风险评估指标值 $R = \sum R_{\text{risk}}(x, t)$ 。

[0171] 在该技术方案中, 通过设置全新的故障概率赋值规则, 利用故障枚举算法, 遍历系统的假想故障集, 用故障的评估指标值乘以该故障发生的概率, 快速计算出所有故障的风险评估指标值, 叠加所得的风险评估指标值以得到配电网运行风险评估指标值, 能够根据不同配电网或同一配电网在不同运行时间的实际需要, 可以灵活修改各个风险指标的重要等级, 并能够分别从整体和/或单项指标给出系统的风险水平, 帮助调度人员整合、分析、提炼配电网中大量的运行信息, 对于配电网的安全预警和稳定运行起到重要的指导作用, 并在快速给出各项风险评估指标的同时, 确保风险评估的精确度, 增强对风险水平的掌控。

[0172] 图3示出了根据本发明的实施例的配电网运行风险评估装置的框图。

[0173] 如图3所示, 根据本发明的实施例的配电网运行风险评估装置300, 包括: 确定单元302, 用于确定配电网中的故障状态集合; 第一计算单元304, 根据预设的故障概率赋值规则, 计算故障状态集合中每个故障发生的概率; 第二计算单元306, 根据预设的计算规则, 计算故障状态集合中每个故障时对应的评估指标值, 用每个故障对应的评估指标值和每个故障发生的概率, 得到每个故障的风险评估指标值; 第三计算单元308, 根据每个故障的风险评估指标值确定配电网的运行风险评估指标值。

[0174] 在该技术方案中, 通过设置全新的故障概率赋值规则, 利用故障枚举算法, 遍历系统的假想故障集, 用故障的评估指标值乘以该故障发生的概率, 快速计算出所有故障的风险评估指标值, 叠加所得的风险评估指标值以得到配电网运行风险评估指标值, 在保证了对风险评估的高速度的同时, 也保证了评估的精确性, 拓宽了实用范围, 增强了对风险水平的掌控, 提高了配电网的安全系数。

[0175] 其中, 整体运行指标中的节点电压均值指标用于反映整个配电网运行过程中的电压平均水平以及配电网整体所处的风险程度。在单项运行指标中, 节点电压过高越线指标用于反映运行系统中电压超过设定限额的风险, 其体现的实际风险可能导致继电保护装置动作, 或者导致部分电气元件损坏; 电压过低越线指标用于反映运行系统中电压低于设定限额的风险, 其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作、部分区域负荷过重需要切除或者分布式电源处于孤岛运行状态等; 线路传输过载指标用于反映运行系统中线路传输的功率超过其可容纳限额的风险, 其体现的实际风险可能是导致继电保护装置动作或部分区域的负荷过重; 设备运行过载指标用于反映配电网中各变压器传输功率过载而发生损坏或引起自身继电保护动作的风险。失负荷指标, 用于考核重要线路故障时, 所对应的失电区域在保证各线路不超载的情况下能否转供并恢复供电。

[0176] 在上述技术方案中,优选地,第一计算单元具体用于:将故障状态集合分为线路故障集和其他故障集,将线路故障集发生的概率设置为第一概率,将其他故障集发生的概率设置为第二概率,其中,第一概率与第二概率之和为1;根据线路故障集对应的第一概率,以及线路故障集中任一线路故障对应的任一线路的长度和线路故障集对应的所有线路的总长度之间的第一比值,计算任一线路故障发生的概率;以及根据其他故障集对应的第二概率,以及其他故障集中任一其他故障对应的长期运行统计概率与其他故障集对应的所有其他故障的总长期运行统计概率之间的第二比值,计算任一其他故障发生的概率。

[0177] 在该技术方案中,提出了一种故障概率赋值规则,使风险评估指标在配电网的不同运行时刻、不同运行拓扑下具有较强的可比性。对于故障发生的概率进行赋值的传统做法是按照该元件的长期故障统计数据进行赋值,这就导致配电网在不同运行时刻、不同运行拓扑下的故障概率总和不同,然而配电网的网络运行拓扑结构十分灵活,在不同时刻下,系统的总故障概率不相同会导致无法精确比较风险评估指标。因此,在本发明中,设置发生故障的概率之和始终为1,即认为任意时刻下配电网不可能绝对安全,另外,对于不同的网络拓扑,通过设置总的故障概率之和为固定值1,使风险评估指标在不同网络拓扑下仍具有可比性,因而较好地反映出配电网运行风险的趋势。同时,在我国的配电网,尤其是城市配电网中,地下电缆正逐步取代架空线路,部分城市已经实现了80%以上的地下电缆覆盖率,地下电缆受到天气等条件的影响较小,其线路故障概率相对固定,用均匀分布模拟其线路故障概率具有较高的精确度。

[0178] 在上述技术方案中,优选地,还包括:第二设置单元310,为评估指标值设置重要等级,以及第三设置单元312,依据重要等级为评估指标值设置对应的权重值。

[0179] 在该技术方案中,为评估指标设置重要等级,可以使配电网在不同运行时间和/或者不同拓扑结构下能够灵活修改各个评估指标的重要等级和对应权重。不同的配电网由于面向的终端客户不同,即便是同一配电网在不同运行时刻也可能具有不同的管理目标,例如,在用户参与重大社会活动时,配电网会重点关注对该用户供电的可靠性,另外,即便是配电网的运行状况完全相同,由于不同的外部和/或内部因素,仍会导致配电网具有不同的风险程度。因此,灵活设定评估指标的重要等级,可以适应配电网实际运行的需要,增加了配电网评估的实用性。

[0180] 在上述技术方案中,优选地,还包括:314临界数值处理单元,通过预设处理方法处理所述配电网中各项评估指标的权重值;

[0181] 所述预设处理方法包括:根据第一预设公式和第二预设公式对所述各项评估指标的权重值进行拟合,其中:第一预设公式为:

$$[0182] \quad q(x)_{\text{升}} = \begin{cases} 0, & x \leq B_{\text{升}} a_{\text{max}} \\ A_{\text{升}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & B_{\text{升}} a_{\text{max}} < x \leq a_{\text{max}} \\ 1, & a_{\text{max}} < x \end{cases}$$

[0183] 第二预设公式为:

$$[0184] \quad q(x)_{\text{降}} = \begin{cases} 0, & B_{\text{降}} a_{\text{min}} \leq x \\ A_{\text{降}} (1 - e^{-k(x-a)^2}), & a_{\text{min}} \leq x < B_{\text{降}} a_{\text{min}} \\ 1, & x < a_{\text{min}} \end{cases}$$

[0185] 其中,当评估指标为节点电压均值指标时, a_{\max} 为节点电压的上临界值、 a_{\min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0186] 当评估指标为节点电压过高越线指标时, a_{\max} 为节点电压的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小;

[0187] 当评估指标为节点电压过低越线指标时, a_{\min} 为节点电压的下临界值, $q(x)_{\text{降}}$ 为节点电压的权重值, x 为节点电压值, k 为调整系数, $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0188] 当评估指标为线路传输过载指标时, a_{\max} 为线路传输功率的上临界值、 a_{\min} 为线路传输功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0189] 当评估指标为设备运行过载指标时, a_{\max} 为设备运行功率的上临界值、 a_{\min} 为设备运行功率的下临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 、 $q(x)_{\text{降}}$ 为设备运行功率的权重值, x 为设备运行功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 、 $A_{\text{降}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{降}}$ 用于设定容差大小;

[0190] 当评估指标为失负荷指标时, a_{\max} 为线路传输功率的上临界值, $q(x)_{\text{升}}$ 为线路传输功率的权重值, x 为线路传输功率值, k 为调整系数, $A_{\text{升}}$ 、 $B_{\text{升}}$ 均为设定值,其中, $A_{\text{升}}$ 用于放大函数值,使函数值在 $[0.005, 1]$ 区间内, $B_{\text{升}}$ 用于设定容差大小。

[0191] 在该技术方案中,以节点电压过高越线指标为例,最终选择出的节点越限电压是与设定的临界值进行比较得到的,当某节点电压接近并低于临界值时,传统的方法一般判定该电压正常,对电压过高越线指标没有贡献,然而该节点电压虽低于临界点,但位于临界点附近,该电压相对其他节点电压对最终的电压过高越线指标的贡献权重虽然稍低,但确实也有少量贡献,简单地舍去它会降低计算精度,显然是不合理的,故而通过模糊数学中隶属函数确定方法解决上述问题,可以保证风险评估的精确度。

[0192] 在上述技术方案中,优选地,节点电压均值指标值的计算公式为:

$$[0193] \quad V(U_{\text{avg}}) = \sum_i p_i W_i \left\{ \sum_{\theta} [q(x)_{\text{升}\theta} \frac{U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}} - U_{\text{过电压临界值}}}{U_{\text{过电压临界值}}} + \right.$$

$$[0194] \quad \left. q(x)_{\text{降}\theta} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}} \right\}$$

[0195] 节点电压过低越线指标值的计算公式为:

$$[0196] \quad V(U_{\text{lower}}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{\text{降}\theta} \frac{U_{\text{低电压临界值}} - U_{\text{低电压节点}\theta\text{计算值}}}{U_{\text{低电压临界值}}} \right)$$

[0197] 节点电压过高越线指标值的计算公式为:

$$[0198] \quad V(U_{\text{over}}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{\text{升}\theta} \frac{U_{\text{过电压节点}\theta\text{计算值}} - U_{\text{过电压临界值}}}{U_{\text{过电压临界值}}} \right)$$

[0199] 其中,在所述节点电压均值指标值的计算公式、所述节点电压过低越线指标值的计算公式以及所述节点电压过高越线指标值的计算公式中, U_{avg} 为节点电压的平均值, U_{over} 为节点电压高于过电压临界值时的电压, U_{lower} 为节点电压低于低电压临界值时的电压, $q(x)_{升\theta}$ 、 $q(x)_{降\theta}$ 为节点电压的权重值, p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为线路或设备*i*的重要等级, θ 为在所述任一线路或设备*i*故障状态下所有节点对应的编号, $U_{过电压节点\theta\text{计算值}}$ 为所有节点电压中高于电压标准值的电压值, $U_{低电压节点\theta\text{计算值}}$ 为所有节点电压中低于电压标准值的电压值, $U_{过电压临界值}$ 为预设的电压过高临界值, $U_{低电压临界值}$ 为预设的电压过低临界值,

[0200] 线路传输过载指标值的计算公式为:

$$[0201] \quad V(L_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{I_{过载线路\theta\text{计算值}} - I_{线路\theta\text{有效限额}}}{I_{线路\theta\text{有效限额}}} \right)$$

[0202] 其中,在所述线路传输过载指标值的计算公式中, L_{over} 为线路传输过程中超过传输功率额定值的传输功率, $q(x)_{升\theta}$ 为线路传输功率的权重值, p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在任一线路或设备*i*故障状态下所有线路对应的编号, $I_{过载线路\theta\text{计算值}}$ 为传输功率大于线路的传输功率额定值的线路的传输功率; $I_{线路\theta\text{有效限额}}$ 为线路的传输功率额定值,

[0203] 设备运行过载指标值的计算公式为:

$$[0204] \quad V(E_{over}) = \sum_i p_i W_i \left(\sum_{\theta} q(x)_{升\theta} \frac{S_{过载设备\theta\text{计算值}} - S_{设备\theta\text{有效限额}}}{S_{设备\theta\text{有效限额}}} \right)$$

[0205] 其中,在所述设备运行过载指标值的计算公式中, E_{over} 为设备运行过程中超过运行功率额定值的运行功率, $q(x)_{升\theta}$ 为设备运行功率的权重值, p_i 为故障状态集合中任一线路或设备*i*发生故障的概率, W_i 为所述任一线路或设备*i*的重要等级, θ 为在任一线路或设备*i*故障状态下所有设备对应的编号, $S_{过载设备\theta\text{计算值}}$ 为运行功率大于设备的运行功率额定值的设备的运行功率; $S_{设备\theta\text{有效限额}}$ 指设备的运行功率额定值;

[0206] 所述失负荷指标值的计算公式为:

$$[0207] \quad V(L_{loss})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{升} \frac{C_{当前容量} - C_{设计容量}}{C_{设计容量}}$$

[0208] 其中,在所述失负荷指标值的计算公式中, θ 代表所指定的停运线路,通过假定所述停运线路故障停运,评估所对应的失电区域能否在保证各线路不发生超载的情况下转供负荷、恢复供电, L_{loss} 为所述停运线路*θ*退出时配电系统损失的负荷大小, i 表示提供负荷转供的线路编号; W_i 为提供负荷转供的线路*i*的重要等级; $C_{当前容量}$ 为线路*i*提供负荷转供后传输的功率; $C_{设计容量}$ 为线路*i*的额定传输功率大小。

[0209] 在该技术方案中,对故障状态集合中的所有故障进行遍历,计算所有故障的节点电压均值指标值、节点电压过高越线指标值、节点电压过低越线指标值、线路传输过载指标值和设备运行过载指标值,将故障状态集合中每个故障的风险评估指标值相加,就可以得出配电网运行风险评估指标值。这样,可以快速精确地给出各故障的详细的各项风险评估指标,大大提高了配电网风险评估的精确度,另外,还可以根据不同实际需要,灵活修改各个故障的各个风险评估指标的重要等级,大大提高了配电网风险评估的实用性和灵活性,

拓宽了实用范围,增强了对风险水平的掌控,提高了配电网的安全系数。

[0210] 图4示出了根据本发明的另一个实施例的配电网运行风险评估方法的计算流程图。

[0211] 如图4所示,根据本发明的实施例的另一个实施例的配电网运行风险评估方法,包括以下步骤:

[0212] 步骤402,输入配电网各节点电气量计算当前潮流,输入权重大小指标;

[0213] 步骤404,确定配电网的故障状态集合 $\{L_1, L_2, \dots, L_n, 0_{n+1}, 0_{n+2}, \dots, 0_{n+m}\}$, 其中, L 指线路故障元素; n 指共有 n 条支路, 0 指其他故障元素, 如配网中的变压器等, m 指共有 m 个元件有发生其他故障的可能;

[0214] 步骤406, 根据故障概率赋值规则, 对故障状态集合中的每个故障发生的概率赋值;

[0215] 步骤408, 分别枚举故障状态集合中所有的单重故障, 令 $i=0$;

[0216] 步骤410, 在某个故障状态 i 下, 配电网通过调控部分隔离开关、联络开关等方式, 使用具有实现网络重构功能的应用软件 (NOR), 通过该软件模拟真实的配电网运行状态切换, 进行管理系统网络优化和重构, 获得新的网络拓扑, 以尽可能地缩短用户的停电时间;

[0217] 步骤412, 计算新的网络拓扑潮流;

[0218] 步骤414, 计算故障状态集合中每个故障的风险评估指标值;

[0219] 步骤416, 判断是否已遍历故障状态集合中的所有元素, 当判断结果为否时, 进入步骤418, 当判断结果为是时, 进入步骤420;

[0220] 步骤418, 令 $i=i+1$, 返回步骤410, 继续进行下一个故障元素的计算;

[0221] 步骤420, 将每个故障的风险评估指标值相加, 得到配电网运行风险评估指标值。

[0222] 在本技术方案中, 针对配电网中故障发生的随机性, 设计了一种基于故障枚举算法的配电网运行风险评估方法, 以含有继电保护装置的线路和配电网中所有设备为故障状态集合, 遍历故障状态集合中所有单重故障, 帮助调度人员整合、分析、提炼配电网中大量的运行信息, 对于配电网的安全预警和稳定运行起到重要的指导作用, 最终计算得到配电网运行风险评估指标, 并在快速给出各项风险评估指标的同时, 确保风险评估的精确度, 增强对风险水平的掌控。

[0223] 图5示出了根据本发明的另一个实施例的配电网运行风险评估方法的配电网33节点配电系统示意图。

[0224] 配电网33节点配电系统如图5所示, 该网中有32条支路、5条联络开关支路(如虚线所示)、1个电源网络首端基准电压12.66kV、三相功率准值取10MVA、网络总负荷5084.26+j2547.32kVA, 节点数字表示节点号, 相应的节点具有不同大小的负荷。当配电网中某条线路故障后, 相应的联络开关会动作, 恢复故障线路两端节点的供电。

[0225] 表1示出了配电网33节点配电系统的节点负荷表。

[0226] 表1

[0227]

节点 i	节点 j	支路阻抗	节点j负荷	节点 i	节点 j	支路阻抗	节点j负荷
0	1	0.0922+j0.047	100+j60	16	17	0.3720+j0.5740	90+j40
1	2	0.4930+j0.2511	90+j40	1	18	0.1640+j0.1565	90+j40
2	3	0.3660+j0.1864	120+j80	18	19	1.5042+j1.3554	90+j40
3	4	0.3811+j0.1941	60+j30	19	20	0.4095+j0.4784	90+j40
4	5	0.8190+j0.7070	60+j20	20	21	0.7089+j0.9373	90+j40
5	6	0.1872+j0.6188	200+j100	2	22	0.4512+j0.3083	90+j50
6	7	0.7114+j0.2351	200+j100	22	23	0.8980+j0.7091	420+j200
7	8	1.0300+j0.7400	60+j20	23	24	0.8960+j0.7011	420+j200
8	9	1.0440+j0.7400	60+j20	5	25	0.2030+j0.1034	60+j25
9	10	0.1966+j0.0650	45+j30	25	26	0.2842+j0.1447	60+j25
10	11	0.3744+j0.1238	60+j35	26	27	1.0590+j0.9337	60+j20
11	12	1.4680+j1.1550	60+j35	27	28	0.8042+j0.7006	120+j70

[0228]

12	13	0.5416+j0.7129	120+j80	28	29	0.5075+j0.2585	200+j600
13	14	0.5910+j0.5260	60+j10	29	30	0.9744+j0.9630	150+j70
14	15	0.7463+j0.5450	60+j20	30	31	0.3105+j0.3619	210+j100
15	16	1.2890+j1.7210	60+j20	31	32	0.3410+j0.5362	60+j40
7	20	2+j2		8	14	2+j2	
24	28	0.5+j0.5		17	32	0.5+j0.5	
11	21	2+j2					

[0229] 在故障状态集合中包含了10、15、20节点处的3个公共变压器,3个变压器长期运行下的故障概率相同;在15节点有一个光伏发电接入该配电网,在运行风险评估计算时刻,其容量设定为230KVA;所有线路均为地下电缆,0-1、1-2、2-3、3-4、4-5号线路长度均为1km,5-6、6-7、7-8、...、31-32号线路长度均为2km;配电网中电压过高临界值设为1.05p.u.,电压过低临界值设为0.93p.u.;配电网实时获得各节点的电压电流情况,对于无法获得的节点或区域,用估计方法得到该节点电压电流等参数;配电网某条线路故障时,系统会通过联络开关等的开断组合恢复故障线路的供电;当某条线路故障时,设线路两端对应的节点为i、i+1,则距离两个节点最近的节点j有联络开关用于动作,迅速恢复故障节点i与i+1之间的供电。

[0230] 按照上述条件设,故障概率分配只与线路长度有关,同时,其他故障元件含有3个公共变压器设备,设定3个公共变压器的总故障概率为0.2,长期观测数据显示,3个变压器故障概率相同,3个变压器权重不同,节点10处变压器权重为5,节点15处变压器权重为2,节点20处变压器权重为2;因此,节点10、15、20处变压器的故障概率分别由下述3个算式所得:

[0231] 线路发生故障的总概率是0.8,单位长度线路发生概率是 $0.8/(5 \times 1 + 27 \times 2) = 0.01355932203$,各条线路用单位长度线路发生概率乘以线路长度即为该条线路发生故障概率,例如,1-2线路发生故障的概率是 $0.01355932203 \times 1 = 0.01355932203$ 。

[0232] 通过配电网中的传感器实时获得配网的电压电流等信息,进行潮流计算仿真,获得各个节点的电压电流及各条线路传输的功率等潮流信息;本实施例通过matlab软件编写风险评估算法,通过调用matpower软件包实现潮流计算。

[0233] 正常情况下,通过潮流计算获取配电网运行信息,列举以下信息:

[0234] 各个节点中电压最低值为0.913p.u.,节点号为18;电压最高值为1p.u.,节点号为1;

[0235] 对故障状态集合进行故障遍历,每次假设故障状态集合中一个元素故障,若该条线路故障没有直接导致配网系统各负荷节点失电,说明此时配网的拓扑不发生变化,则直接进行故障后的配网潮流计算;否则,相关的联络开关、分段开关等需要动作以保证故障线路两端节点恢复供电,进而,计算在配网发生变化情况下的系统潮流,按照各个指标的计算公式计算相应的风险因素值 V_i ;

[0236] 下面分别给出5-6线路故障,以及节点10处变压器故障时,节点电压均值风险指标的计算方法和过程;其他各单项运行指标按相同的方法进行

[0237] 当5-6线路故障时,

[0238] 1) 5-6号线路故障概率 P_{5-6} 为0.02711864406;

[0239] 2) 通过计算得到,故障后,0~32号节点电压标么值分别为:1.0000,0.9971,0.9876,0.9835,0.9796,0.9697,0.9518,0.9529,0.9476,0.9427,0.9420,0.9409,0.9360,0.9342,0.9333,0.9326,0.9306,0.9302,0.9950,0.9773,0.9723,0.9717,0.9840,0.9774,0.9741,0.9679,0.9653,0.9542,0.9461,0.9426,0.9386,0.9377,0.9374;

[0240] 3) 5-6号线路单重故障时对应的节点电压均值风险指标为:

$$V(U_{avg})_{5-6} = P_{5-6} W_{5-6} \times \left(\sum_{\theta=0}^{32} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} + \sum_{\theta=0}^{32} q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right)$$

$$= 0.02711864406 \times 0.1271$$

$$= 0.0034678$$

[0242] 其中,线路5-6权重 W_{5-6} 为1, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 分别对应公式(7)(8),且本算例中 $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 分别取4000、4000、0.99、1.02;

[0243] 当10号节点处变压器故障时,

[0244] 1) 10号节点处变压器故障概率 P_{10} 为0.1111111,权重 W_{10} 为5;

[0245] 2) 故障后,0~32号节点电压标么值分别为:1.0000,0.9971,0.9833,0.9760,0.9688,0.9509,0.9477,0.9432,0.9375,0.9323,0.9316,0.9303,0.9242,0.9219,0.9205,0.9192,0.9171,0.9167,0.9966,0.9930,0.9923,0.9916,0.9797,0.9730,0.9697,0.9490,0.9465,0.9350,0.9268,0.9233,0.9191,0.9182,0.9179;

[0246] 3) 10号节点处变压器单重故障,所计算节点电压均值风险单项指标数值为:

$$\begin{aligned}
 V(U_{avg})_{10} &= P_{10} W_{10} \times \left(\sum_{\theta=0}^{32} q(x)_{升\theta} \frac{U_{过电压节点\theta计算值} - U_{过电压临界值}}{U_{过电压临界值}} \right. \\
 [0247] \quad &+ \left. \sum_{\theta=0}^{32} W_i q(x)_{降\theta} \frac{U_{低电压临界值} - U_{低电压节点\theta计算值}}{U_{低电压临界值}} \right) \\
 &= 0.11111111 \times 5 \times 0.4163 \\
 &= 0.231278
 \end{aligned}$$

[0248] 其中, $q(x)_{升}$ 、 $q(x)_{降}$ 分别对应公式 (7) (8), 算例中 $A_{升}$ 、 $A_{降}$ 、 $B_{升}$ 、 $B_{降}$ 取值与 A 中计算线路 5-6 故障的取值保持相同;

[0249] 其中, 失负荷指标, 用于考核重要线路故障时, 所对应的失电区域在保证各线路不超载的情况下能否转供并恢复供电。其考查的对象为关键线路, 具体根据调度人员的需要进行指定。以下图 5 为例, 假定节点 15、16 之间的线路发生故障, 17、32 节点之间的联络开关应当由断开转为联通状态以提供转供回路。进而, 计算改变后的拓扑潮流, 判断提供转供线路是否发生线路过负荷运行。如果存在过负荷运行, 认为负载无法正常转供, 失负荷概率为最大值 1; 否则, 在保证线路未超负荷的条件下, 计算提供转供负荷线路的余量, 余量越大, 对应的运行风险越小, 所计算的指标数值越靠近 0; 余量越小, 则对应的风险越大, 数值越靠近 1。具体判定线路余量的方式为, 假设该线路的设计容量是“1”且运行量值为“0.6”, 提供转供后余量为“0.9”, 则

[0250] 余量为 $(1-0.9)/1=10\%$ 。进而, 利用隶属度函数对 10% 量化得到对应的风险值, 然后将所有提供转供支路的线路风险值相加, 则得到最终的关于线路 i 的损失负荷指标。

[0251] 具体计算公式为:

$$[0252] \quad V(L_{loss})_{\theta} = \sum_i W_i q(x)_{升} \frac{C_{i当前容量} - C_{i设计容量}}{C_{i设计容量}}$$

[0253] 上式中, 角标 x 代表所指定的关键线路; 角标 i 表示提供转供的线路。具体的, 在编程过程中为了节省运算量, 应当考虑行之有效的“转供线路搜索方式”。其具体含义是, 由于本指标是评估某条指定线路发生故障情况下, 提供转供路径的相邻线路是否会发生过负荷的风险, 因而, 在具体实现过程中, 以提供转供路径的节点为根节点, 由此根节点往上游的线路进行搜索, 直到搜索至其上游某条线路的传输电流变化小于 0.1 p.u. (所述 0.1 p.u. 可以由用户进行设定), 并且该传输电流未进入过负荷风险的区域, 则停止搜索, 按照式 (1) 将已搜索的线路转供风险进行累加即可。进一步, 为了解决同时采用多个联络开关进行负荷转供时, 以所具有的相共同根节点为单位, 搜索该区域内的所有线路电流变化情况, 当传输电流小于 0.1 p.u. 安培时, 认为未发生变化, 不计入转供指标中去; 反之则将发生电流变化的线路计入最终的评估指标中。

[0254] 4) 按照 3) 的步骤, 依次计算出故障集合中其他的单重故障指标, 最后进行累加求和, 得出最终节点电压均值风险指标, 其他指标亦按照相同算法进行。

[0255] 在本发明中, 术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述的目的, 而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0256] 以上结合附图详细说明了本发明的技术方案, 通过本发明的技术方案, 能够根据不同配电网或同一配电网在不同运行时间的实际需要, 可以灵活修改各个风险指标的重要等级, 并能够分别从整体和/或单项指标给出系统的风险水平, 帮助调度人员整合、分析、提

炼配电网中大量的运行信息,对于配电网的安全预警和稳定运行起到重要的指导作用,并在快速给出各项风险评估指标的同时,确保风险评估的精确度,增强对风险水平的掌控。

[0257] 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,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。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。

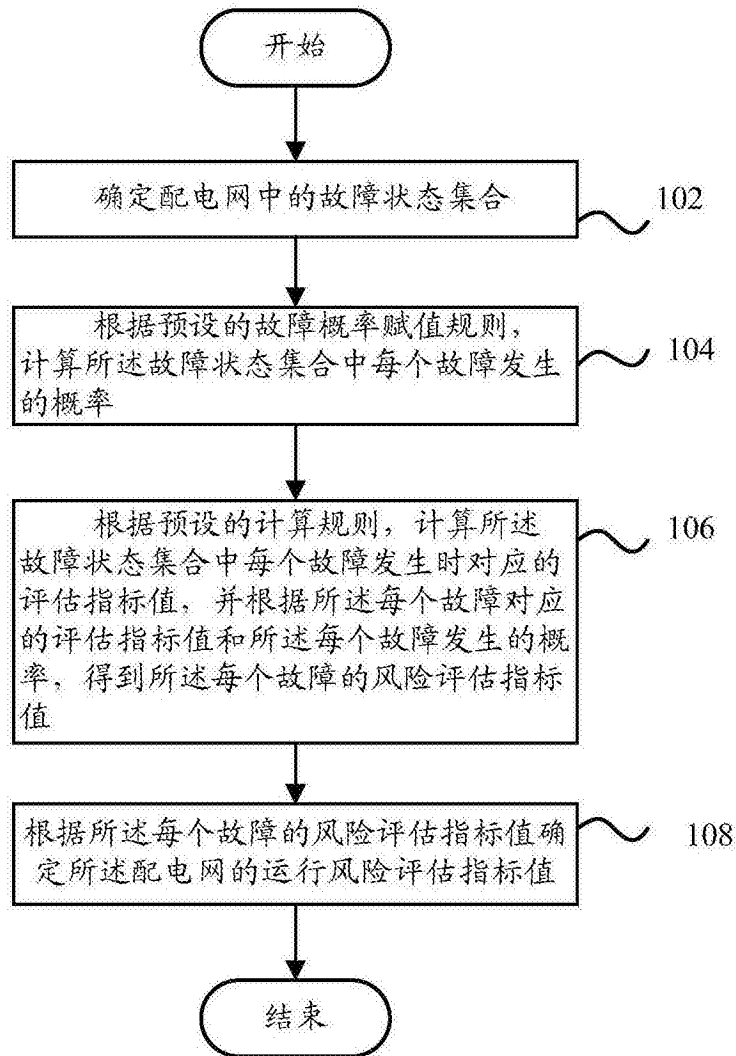


图1

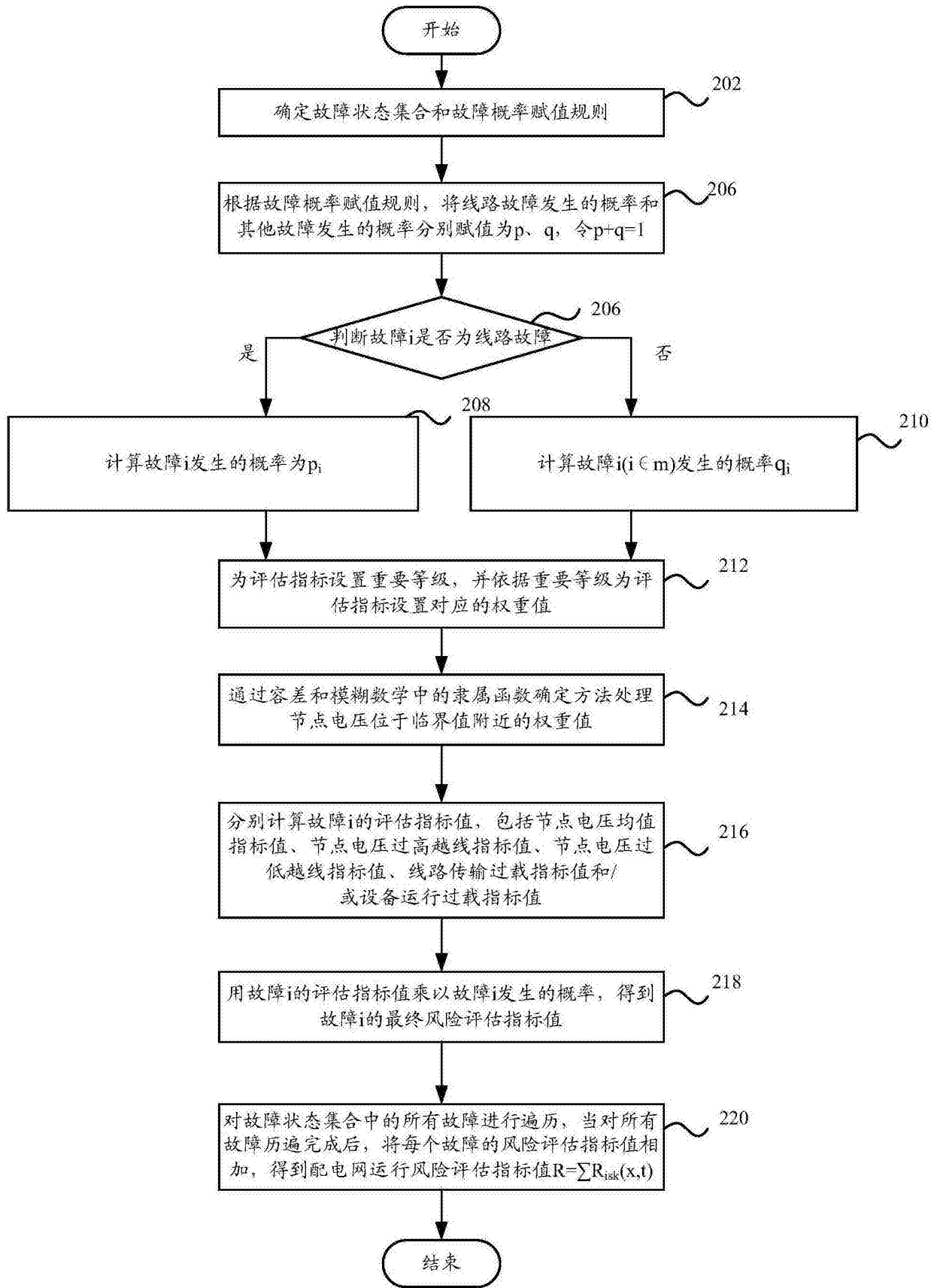


图2

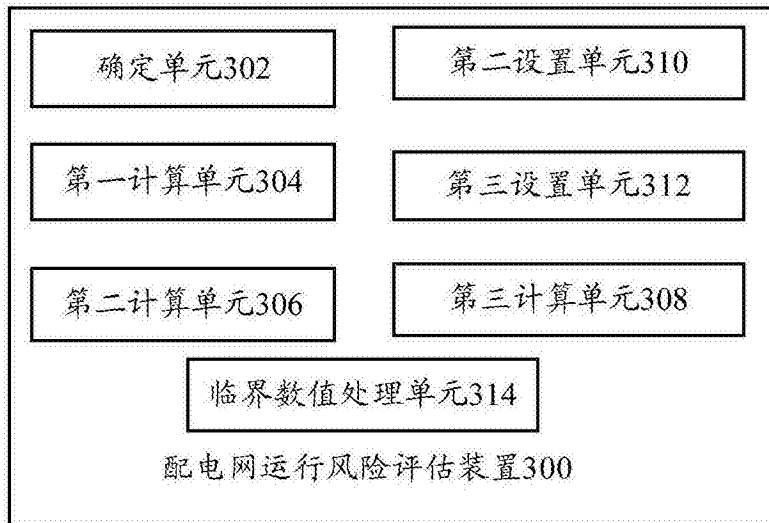


图3

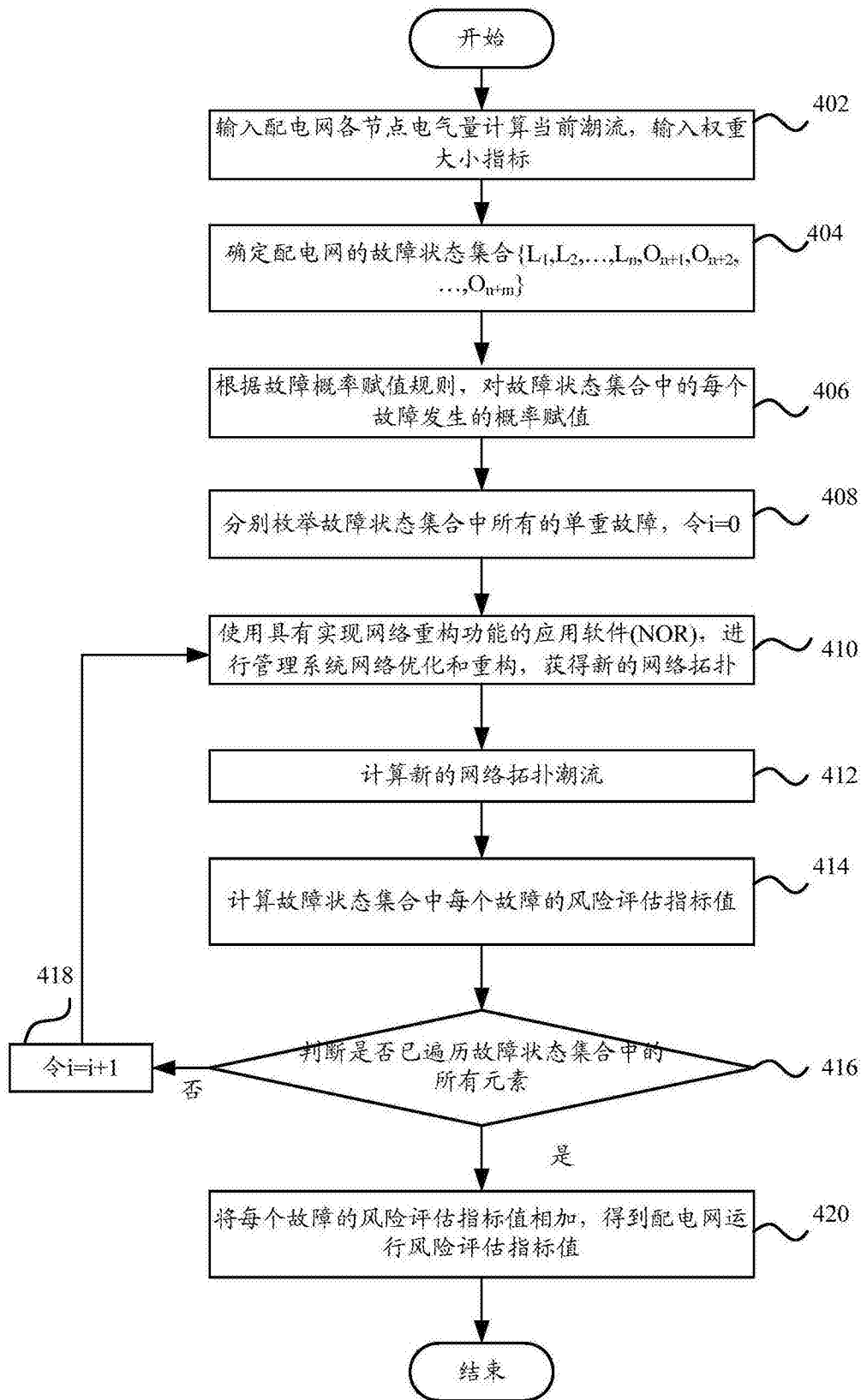
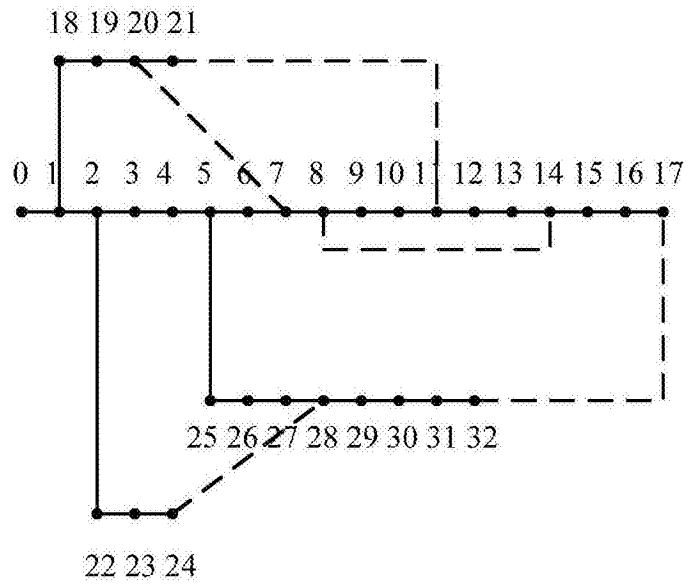


图4



配电网33节点配电系统示意图

图5