



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108390370 A

(43)申请公布日 2018.08.10

(21)申请号 201810047980.9

(22)申请日 2018.01.18

(71)申请人 南京邮电大学

地址 210023 江苏省南京市栖霞区文苑路9号

(72)发明人 吴英俊 梁欣怡 江星洵

(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 刘莎

(51)Int.Cl.

H02J 3/00(2006.01)

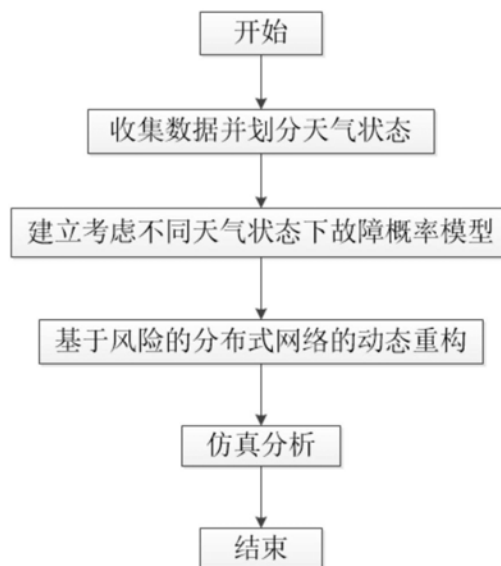
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54)发明名称

一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法

(57)摘要

本发明公开了一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,通过对天气变量的分析,分析多天气状态对输电线路故障率的影响,建立了不同天气状态下输电线路故障模型。为避免配电网运行风险变化可能造成的开关动作频率,提出了根据配电网运行风险变化的动态重构时段划分的动态重构方法。本发明可广泛应用于智能配电网重构。



1. 一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:输入历史天气信息、当前天气状态、历史配电网可靠性、配电网拓扑结构、开关状态、配电网负荷、电压约束、潮流约束和开关动作次数约束数据;

步骤2:根据历史天气数据,辨识关键天气变量,并对关键天气变量进行区间划分和量化,进而得出天气变量等级;

步骤3:根据历史可靠性数据,统计配电网线路在不同天气状态下的停电次数,得到输电线路在不同天气状态下的故障概率,建立多天气状态下输电线路故障模型;

步骤4:建立配电网静态重构模型;

步骤5:考虑配电网运行安全要求,确定允许的配电网运行风险变化阈值;在此基础上,根据配电网运行风险变化划分动态重构时段;

步骤6:综合配电网静态重构模型和动态重构时段,当配电网运行风险变化超过允许的阈值时对配电网进行重构,并利用量子遗传算法求解重构模型,优化配电网运行状态降低运行风险。

2. 根据权利要求1所述的一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,其特征在于,步骤2中利用相关性分析方法,对历史天气数据进行分析,得到影响配电网可靠性的关键天气变量。

3. 根据权利要求1所述的一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,其特征在于,步骤3中多天气状态下输电线路故障模型为:

$$\lambda_E = f_1(\lambda_1, p_1, \lambda_2, p_2, \dots, \lambda_i, p_i) \\ = \sum_{i=1}^{m \times n} \lambda_i p_i$$

其中, p_i 为输电线路暴露在第*i*个天气状态下的比例; λ_E 为多天气状态下输电线路故障

概率, λ_i 为第*i*个天气状态输电线路故障概率, $\lambda_i = \frac{\lambda_{avg} \left(\frac{N_i}{\sum_j^{m \times n} N_j} \right)}{p_i}$, λ_{avg} 为多天气状态下输电

线路故障平均概率, N_i 为第*i*个天气状态下的总停电次数, N_j 为第*j*个天气状态下的总停电次数, $m \times n$ 为所有天气状态的个数。

4. 根据权利要求1所述的一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,其特征在于,步骤4中建立配电网静态重构模型,具体为:

目标函数为:

$$\min f \left(\sum_{\delta=1}^{\eta} (\lambda_{\delta}(t_q) \times C_{\delta}), X_q, t_q \right)$$

约束条件为:

$$V_{\delta \min} \leq V_{\delta} \leq V_{\delta \max}$$

$$S_{\delta} \leq S_{\delta \max}$$

$$S_G = S_L + S_{\text{loss}}$$

$$g_q \in G$$

$$\sum |X_q' - X_q| < M$$

其中, $\min f(\cdot)$ 表示与 C_δ 、 $\lambda_\delta(t_q)$ 、 X_q 和 t_q 相关的配电网静态重构的目标函数, C_δ 为第 δ 条输电线路故障造成的损失, $\lambda_\delta(t_q)$ 为第 δ 条输电线路在第 q 个重构时段 t_q 的故障概率, X_q 和 X_q' 分别为重构前后表示开关状态的向量, M 是开关最大允许动作次数, V_δ 是第 δ 条输电线路末端母线的电压幅值, $V_{\delta\min}$ 和 $V_{\delta\max}$ 是第 δ 条输电线路末端母线电压幅值限值, S_δ 是第 δ 条输电线路的潮流值, $S_{\delta\max}$ 为第 δ 条输电线路的潮流值的最大值, S_G 为变电站供电功率, S_L 为配电网负荷, S_{loss} 为配电网网损, g_q 为配电网在第 q 个重构时段的拓扑结构, G 为允许的拓扑结构集合。

5. 根据权利要求1所述的一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法, 其特征在于, 步骤5具体为:

首先, 根据固定时间间隔把一天划分为一定数量的时段, 然后假设每一时段均进行重构, 计算所有时段配电网重构前后的运行风险值;

其次, 计算所有时段配电网重构前后运行风险值的差值, 当该差值大于允许的配电网运行风险变化阈值时, 则确定该时段需要重构; 否则该时段无需重构;

最后, 将所有相邻的无需重构的时段合并, 即得到最终的动态重构时段。

6. 根据权利要求5所述的一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法, 其特征在于, 配电网重构前的运行风险值 $I_{sys} = \sum_{\delta=1}^{\eta} (\lambda_\delta \times C_\delta)$, 其中, η 为输电线路数量, λ_δ 为第 δ 条输电线路的故障概率, C_δ 为第 δ 条输电线路故障造成的损失, $C_\delta = \sum_{z=1}^{\zeta} L_z U_z$, ζ 是停电负荷数量, L_z 是第 z 个停电负荷的功率, U_z 是第 z 个停电负荷的停电持续时间。

一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,特别涉及一种考虑天气状态对配电网输电线路故障概率影响分析以及考虑天气状态对配电网运行风险影响的配电网动态重构方法,属于智能配电网可靠性分析和调度运行技术领域。

背景技术

[0002] 我国用电需求及用电负荷逐年攀升,对供电质量和供电可靠性提出的要求越来越高。配电网作为电网的重要组成部分之一,是电力发、输电系统与用户连接的纽带,与用户的联系最为紧密,对用户的影响也最为直接,具有点多、面广、线路长的特点,是保证供电质量、提高供电效益的关键环节,其建设、运行和管理正逐步迈入“精细化”阶段。电网规模日益扩大,配电网作为电力发、输电系统与用户连接的纽带,在电网中的地位日益受到重视。我国由于长期不重视配电网的管理与建设,滞后的配电网发展所导致的问题正不同程度地暴露出来。

[0003] 配电网作为城市现代化建设的重要基础设施,其建设和改造需要投入的资金量巨大,发达国家中占整个电力系统投资的50%以上,在城市中这一比例可达60%以上。配电网由于直接面向广大电力用户,不可避免会受到用户侧各种不确定性因素的影响,统计数据显示,80%以上的停电事故是由配电系统引起的。我国由于长期不重视配电网的管理与建设,其发展水平相对滞后,越来越多的问题正不同程度地暴露出来,如:线路负载率过高或联络数过少导致转供电能力不足、供电设备老化、线损率过高、对负荷的预计不足导致线路供电半径过大等。严重滞后的配电网建设已无法满足城市的建设发展和用户对供电可靠性及电能质量的要求。由此可见,我国配电网的建设、发展任重而道远,更加有效地指导配电网的建设发展受到电力企业及相关研究人员的广泛关注。

[0004] 配电网中的电源组件故障构成最大的断电风险。增强配电可靠性的项目对配电网网络至关重要。网络重构是一种提高网络可靠性和减少能量损失,同时几乎不需要增加可靠性投资的技术。配电系统重构的常用目标是在总线上最小化传输损耗和/或电压偏差(从标称值)。为了防止中断,重构网络的基本标准是保持由于功率部件故障导致的可靠性降低。因此,配电网重构的目的是减少对用户的供电中断的频率和持续时间。实际电力系统中的架空线在宽范围的天气条件下操作,因此功率部件的故障率和恢复时间不是固定的。例如,组件在不利天气条件下的故障率可能比正常情况下大得多,并且冬季风暴期间的恢复时间比正常天气期间所需的恢复时间长得多。天气条件的详细建模过程中引入了一个三态天气模型,其中不利天气状态分为两个状态。一般天气条件分为四种类型,即晴空,多云天,雾天和雨天。然而,在这些文章中分类的天气状态的数量太小,不能完全反映实际的天气严重性。此外,目前大多数的重构方法只考虑负载的时变性质,而时间变化的天气性质没有被考虑。

[0005] 因此,提出一种方法来确定考虑可变天气条件的配电网的重构方案具有非常重要的社会和经济意义。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,分析天气状态对配电网输电线路故障概率的影响,进而量化天气状态对配电网运行风险的影响,提出考虑天气状态的配电网动态重构方法。本发明在配电网重构决策过程中,考虑了天气状态对输电线路故障概率的影响,计算得到的配电网运行风险更能反映实际风险值,重构结果更能指导配电网的运行安排。

[0007] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0008] 本发明提供一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,包括以下具体步骤:

[0009] 步骤1:输入历史天气信息、当前天气状态、历史配电网可靠性、配电网拓扑结构、开关状态、配电网负荷、电压约束、潮流约束和开关动作次数约束数据;

[0010] 步骤2:根据历史天气数据,辨识关键天气变量,并对关键天气变量进行区间划分和量化,进而得出天气变量等级;

[0011] 步骤3:根据历史可靠性数据,统计配电网线路在不同天气状态下的停电次数,得到输电线路在不同天气状态下的故障概率,建立多天气状态下输电线路故障模型;

[0012] 步骤4:建立配电网静态重构模型;

[0013] 步骤5:考虑配电网运行安全要求,确定允许的配电网运行风险变化阈值;在此基础上,根据配电网运行风险变化划分动态重构时段;

[0014] 步骤6:综合配电网静态重构模型和动态重构时段,当配电网运行风险变化超过允许的阈值时对配电网进行重构,并利用量子遗传算法求解重构模型,优化配电网运行状态降低运行风险。

[0015] 作为本发明的进一步技术方案,步骤2中利用相关性分析方法,对历史天气数据进行分析,得到影响配电网可靠性的关键天气变量。

[0016] 作为本发明的进一步技术方案,步骤3中多天气状态下输电线路故障模型为:

$$\lambda_E = f_1(\lambda_1, p_1, \lambda_2, p_2, \dots, \lambda_i, p_i)$$

$$= \sum_{i=1}^{m \times n} \lambda_i p_i$$

[0018] 其中, p_i 为输电线路暴露在第 i 个天气状态下的比例; λ_E 为天气状态下输电线路故障

概率, λ_i 为第 i 个天气状态输电线路故障概率, $\lambda_{avg} = \frac{\left(\frac{N_i}{\sum_j^{m \times n} N_j} \right)}{p_i}$, λ_{avg} 为多天气状态下输电

线路故障平均概率, N_i 为第 i 个天气状态下的总停电次数, N_j 为第 j 个天气状态下的总停电次数, $m \times n$ 为所有天气状态的个数。

[0019] 作为本发明的进一步技术方案,步骤4中建立配电网静态重构模型,具体为:

[0020] 目标函数为:

$$[0021] \quad \min f\left(\sum_{\delta=1}^{\eta} (\lambda_{\delta}(t_q) \times C_{\delta}), X_q, t_q\right)$$

[0022] 约束条件为:

[0023] $V_{\delta\min} \leq V_{\delta} \leq V_{\delta\max}$

[0024] $S_{\delta} \leq S_{\delta\max}$

[0025] $S_G = S_L + S_{\text{loss}}$

[0026] $g_q \in G$

[0027] $\sum |X'_q - X_q| < M$

[0028] 其中, $\min f(\cdot)$ 表示与 C_{δ} 、 $\lambda_{\delta}(t_q)$ 、 X_q 和 t_q 相关的配电网静态重构的目标函数, C_{δ} 为第 δ 条输电线路故障造成的损失, $\lambda_{\delta}(t_q)$ 为第 δ 条输电线路在第 q 个重构时段 t_q 的故障概率, X_q 和 X'_q 分别为重构前后表示开关状态的向量, M 是开关最大允许动作次数, V_{δ} 是第 δ 条输电线路末端母线的电压幅值, $V_{\delta\min}$ 和 $V_{\delta\max}$ 是第 δ 条输电线路末端母线电压幅值限值, S_{δ} 是第 δ 条输电线路的潮流值, $S_{\delta\max}$ 为第 δ 条输电线路的潮流值的最大值, S_G 为变电站供电功率, S_L 为配电网负荷, S_{loss} 为配电网网损, g_q 为配电网在第 q 个重构时段的拓扑结构, G 为允许的拓扑结构集合。

[0029] 作为本发明的进一步技术方案, 步骤5具体为:

[0030] 首先, 根据固定时间间隔把一天划分为一定数量的时段, 然后假设每一时段均进行重构, 计算所有时段配电网重构前后的运行风险值;

[0031] 其次, 计算所有时段配电网重构前后运行风险值的差值, 当该差值大于允许的配电网运行风险变化阈值时, 则确定该时段需要重构; 否则该时段无需重构;

[0032] 最后, 将所有相邻的无需重构的时段合并, 即得到最终的动态重构时段。

[0033] 作为本发明的进一步技术方案, 配电网重构前的运行风险值 $I_{\text{sys}} = \sum_{\delta=1}^{\eta} (\lambda_{\delta} \times C_{\delta})$, 其中, η 为输电线路数量, λ_{δ} 为第 δ 条输电线路的故障概率, C_{δ} 为第 δ 条输电线路故障造成的损失, $C_{\delta} = \sum_{z=1}^{\zeta} L_z U_z$, ζ 是停电负荷数量, L_z 是第 z 个停电负荷的功率, U_z 是第 z 个停电负荷的停电持续时间。

[0034] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比, 具有以下技术效果: 本发明一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法, 通过对天气变量的分析, 建立了天气状态模型; 分析多天气状态对输电线路故障率的影响, 建立了多天气状态下输电线路故障模型; 为避免配电网运行风险变化可能造成的开关动作频率, 提出了根据配电网运行风险变化的动态重构时段划分的动态重构方法。本发明在配电网重构决策过程中, 考虑了天气状态对输电线路故障概率的影响, 计算得到的配电网运行风险更能反映实际风险值, 重构结果更能指导配电网的运行安排, 可广泛应用于智能配电网重构。

附图说明

[0035] 图1是本发明的方法流程图;

[0036] 图2是重构间隔的划分示意图;

[0037] 图3是IEEE 33节点测试系统示意图;

[0038] 图4是经典日负荷曲线图;

[0039] 图5是在17:00重构前后单组件故障率示意图;

[0040] 图6是单一天气条件下的时间间隔示意图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明：

[0042] 本发明所要解决的技术问题是提供一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,分析天气状态对配电网输电线路故障概率的影响,进而量化天气状态对配电网运行风险的影响,提出考虑天气状态的配电网动态重构方法。本发明在配电网重构决策过程中,考虑了天气状态对输电线路故障概率的影响,计算得到的配电网运行风险更能反映实际风险值,重构结果更能指导配电网的运行安排。

[0043] 本发明提供一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法,考虑天气对配电网运行风险的影响,通过配电网重构降低配电网运行风险。如图1所示,具体实施步骤如下：

[0044] 步骤1:输入历史天气信息、当前天气状态、历史配电网可靠性、配电网拓扑结构、开关状态、配电网负荷、电压约束、潮流约束和开关动作次数约束数据。

[0045] 步骤2:分析历史天气数据,得到影响配电网可靠性的关键天气变量如表1。在此基础上,进一步对关键天气变量进行区间划分和量化,通过不同天气变量不同区间的组合划分天气变量等级。

[0046] 首先,风和闪电是影响配电网可靠性最大的两种天气变量。这里用选择阵风风速(WGS)、综合风速(RS)和平均风速(AS)作为风力效应关键天气变量,雷电冲击电流等效值(ALSC)和雷电冲击电流峰值(PLSC)描述雷电效应关键天气变量。划分这5个天气变量的区间。

[0047] 表1天气变量和等级分类

[0048]

天气变量	区间划分
阵风速度(WGS)	$A_1[0 \ a_1), A_2[a_1 \ a_2), \dots, A_m[a_{m-1} \ \text{Max})$
合成速度(RS)	$B_1[0 \ b_1), B_2[b_1 \ b_2), \dots, B_n[a_{g-1} \ \text{Max})$
平均速度(AS)	$C_1[0 \ c_1), C_2[c_1 \ c_2), \dots, C_p[a_{p-1} \ \text{Max})$
总雷电冲击电流自然对数(NLAL)	$D_1[0 \ d_1), D_2[d_1 \ d_2), \dots, D_q[a_{q-1} \ \text{Max})$
峰值雷电冲击电流自然对数(NLPL)	$E_1[0 \ e_1), E_2[e_1 \ e_2), \dots, E_s[a_{s-1} \ \text{Max})$
结冰(ICE)	$F_1[0 \ f_1), F_2[f_1 \ f_2), \dots, F_u[a_{u-1} \ \text{Max})$

[0049] 表1中, $a_1, \dots, a_{m-1}; b_1, \dots, b_{g-1}; c_1, \dots, c_{p-1}; d_1, \dots, d_{q-1}; e_1, \dots, e_{s-1}; f_1, \dots, f_{u-1}$ 分别表示阵风速度、合成速度、平均速度、总雷电冲击电流自然对数与峰值雷电冲击电流自然对数区间中的分割点。

[0050] 组合表1中不同天气变量的不同区间,得到天气变量的等级,如表2所示。表2中, $m \times n$ 表示所有天气状态的个数。

[0051] 表2天气变量等级

[0052]

天气状态	天气变量等级	
	阵风速度 (WGS)	雷电自然对数 (NLL)
1	$A_1[0 \ a_1)$	$E_1[0 \ e_1)$
2	$A_2[a_1 \ a_2)$	$E_2[0 \ e_1)$
...
m	$A_m[a_{m-1} \ \text{Max})$	$E_m[0 \ e_1)$
$m+1$	$A_1[0 \ a_1)$	$E_{m+1}[e_1 \ e_2)$
$m+2$	$A_2[a_1 \ a_2)$	$E_{m+2}[0 \ e_1)$
...
$m \times n$	$A_m[a_{m-1} \ \text{Max})$	$E_n[e_{n-1} \ \text{Max})$

[0053] 步骤3:根据历史可靠性数据(如表3所示的电力线的中断数据库),统计配电网线路在不同天气状态下的停电次数,得到输电线路在不同天气状态下的故障概率,建立多天气状态下输电线路故障模型。

[0054] 首先分析单一天气状态对输电线路故障概率的影响,建立单一天气状态下的输电线路故障概率模型。基于历史可靠性数据,统计单一天气状态下输电线路的故障次数,得到输电线路在单一天气状态下的故障概率。

[0055] 表3电力线的中断数据库

[0056]

天气状态	中断数据库	Steady State Probability
1	$(1, r_{11}), (2, r_{12}), \dots, (N_1, r_{1N1})$	P_1
2	$(1, r_{21}), (2, r_{22}), \dots, (N_2, r_{2N2})$	P_2
...
m	$(1, r_{m1}), (2, r_{m2}), \dots, (N_m, r_{mNm})$	P_m
$m+1$	$(1, r_{(m+1)1}), (2, r_{(m+1)2}), \dots, (N_{m+1}, r_{(m+1)N(m+1)})$	P_{m+1}
$m+2$	$(1, r_{(m+2)1}), (2, r_{(m+2)2}), \dots, (N_{m+2}, r_{(m+2)N(m+1)})$	P_{m+2}
...	...	
$m \times n$	$(1, r_{(m \times n)1}), (2, r_{(m \times n)2}), \dots, (N_{m \times n}, r_{(m \times n)N(m \times n)})$	$P_{m \times n}$

[0057] 表3中: N_i 表示第*i*个天气状态下的总停电次数, r_{jk} 表示第*j*个天气状态下第*k*次停电的故障恢复时间, P_i 表示第*i*个天气状态出现概率。

[0058] 则,第*i*个天气状态输电线路故障概率为

$$[0059] \quad \lambda_i = \frac{\lambda_{avg} \left(\frac{N_i}{\sum_j^{m \times n} N_j} \right)}{P_i} \quad (1)$$

[0060] 在此基础上,根据不同天气状态在输电线路上的覆盖比例,建立输电线路的多天

气状态故障概率模型。

[0061] 假设输电线路暴露在第*i*个天气状态下的比例为 p_i ,则该线路的故障概率为

$$\begin{aligned} \lambda_E &= f_1(\lambda_1, p_1, \lambda_2, p_2, \dots, \lambda_i, p_i) \\ &= \sum_{i=1}^{m \times n} \lambda_i p_i \end{aligned} \quad (2)$$

[0063] 步骤4:建立配电网静态重构模型。目标函数为最小化配电网运行风险,约束条件包括节点电压约束、潮流约束、拓扑结构约束、开关动作次数约束。

[0064] 目标函数为:

$$\min f\left(\sum_{\delta=1}^{\eta} (\lambda_{\delta}(t_q) \times C_{\delta}), X_q, t_q\right) \quad (3)$$

[0066] 约束条件为:

$$V_{\delta \min} \leq V_{\delta} \leq V_{\delta \max} \quad (4)$$

$$S_{\delta} \leq S_{\delta \max} \quad (5)$$

$$S_G = S_L + S_{\text{loss}} \quad (6)$$

$$g_q \in G \quad (7)$$

$$\sum |X'_q - X_q| < M \quad (8)$$

[0072] 其中, C_{δ} 为第 δ 条输电线路故障造成的损失, $\lambda_{\delta}(t_q)$ 为第 δ 条输电线路在第 q 个重构时段 t_q 的故障概率, X_q 和 X'_q 分别为重构前后表示开关状态的向量, $\min f(\cdot)$ 表示与 C_{δ} 、 $\lambda_{\delta}(t_q)$ 、 X_q 和 t_q 相关的配电网静态重构的目标函数, M 是开关最大允许动作次数, V_{δ} 是第 δ 条输电线路末端母线的电压幅值, $V_{\delta \min}$ 和 $V_{\delta \max}$ 是第 δ 条输电线路末端母线电压幅值限值, S_{δ} 是第 δ 条输电线路的潮流值, $S_{\delta \max}$ 为第 δ 条输电线路的潮流值的最大值, S_G 为变电站供电功率, S_L 为配电网负荷, S_{loss} 为配电网网损, g_q 为配电网在第 q 个重构时段的拓扑结构, G 为允许的拓扑结构集合。

[0073] 步骤5:考虑配电网运行安全要求,确定允许的配电网运行风险变化阈值。在此基础上,为避免配电网运行风险变化可能造成的开关动作频率,根据配电网运行风险变化划分动态重构时段;

[0074] 首先根据固定时间间隔把一天划分为一定数量的时段,然后假设每一时段均进行重构,计算所有时段配电网重构前后的运行风险值。所有时段配电网重构前后的运行风险函数如下:

$$I_{\text{sys}} = H(I_{\text{sys}}, X_q, t_q) \quad (9)$$

$$I'_{\text{sys}} = H(I_{\text{sys}}, X'_q, t_q) \quad (10)$$

[0077] 配电网运行风险计算公式为:

$$I_{\text{sys}} = \sum_{\delta=1}^{\eta} (\lambda_{\delta} \times C_{\delta}) \quad (11)$$

[0079] 其中, I_{sys} 为配电网重构前的运行风险, η 为输电线路数量, C_{δ} 为第 δ 条线路故障造成的损失,计算公式为

$$C_{\delta} = \sum_{z=1}^{\zeta} L_z U_z \quad (12)$$

[0081] 其中, ζ 是停电负荷数量, L_z 是第 z 个负荷功率, U_z 是第 z 个负荷停电持续时间。

[0082] 接着计算所有时段配电网重构前后运行风险值的差值,

$$[0083] \quad \Delta I_{\text{sys}} = I_{\text{sys}} - I'_{\text{sys}} \quad (13)$$

[0084] 其中, I'_{sys} 为配电网重构后的运行风险, ΔI_{sys} 为所有时段配电网重构前后运行风险值的差值。

[0085] 当该差值大于允许的配电网运行风险变化阈值时, 则该时段确实需要重构; 否则, 无需重构。最后把所有相邻的无需重构的时段合并, 之后重复该过程, 直至不能再合并时段为止。此时, 各时段即为最终动态重构时段, 如图2所示。

[0086] 步骤6: 综合静态重构模型和动态重构时段, 当配电网运行风险变化超过允许的阈值, 对配电网进行重构, 利用量子遗传算法, 求解重构模型, 优化配电网运行状态降低运行风险, 这就是配电网动态重构方法。

[0087] 下面通过具体实施例对本发明的技术方案做进一步阐述:

[0088] 本发明提供一种考虑天气状态对配电网运行风险影响的动态重构方法, 考虑天气对配电网运行风险的影响, 通过配电网重构降低配电网运行风险。本实施例的配电网采用如图3所示的IEEE 33节点测试系统, 其经典日负荷曲线如图4所示, 具体实施步骤如下:

[0089] 步骤1: 输入历史天气信息、当前天气状态、历史配电网可靠性、配电网拓扑结构、开关状态、配电网负荷、电压约束、潮流约束和开关动作次数约束数据;

[0090] 步骤2: 分析历史天气数据, 得到影响配电网可靠性的关键天气变量。在此基础上, 进一步对关键天气变量进行区间划分和量化, 通过不同天气变量不同区间的组合得到天气变量等级;

[0091] 首先, 风和闪电是影响配电网可靠性最大的两种天气变量。这里用选择阵风风速 (WGS)、综合风速 (RS) 和平均风速 (AS) 作为风力效应变量, 雷电冲击电流等效值 (ALSC) 和雷电冲击电流峰值 (PLSC) 描述雷电效应变量。划分这5个天气变量为区间, 如表4所示。

[0092] 表4天气状态分类和可靠性数据

[0093]

天气状态	天气变量		稳态概率 (%)	故障率(<i>time/year</i>)	恢复时间(<i>hour</i>)
	阵风速度 (<i>m/s</i>)	雷电自然对数(<i>kA</i>)			
1	$A_1[0\ 5)$	$B_1[0\ 3)$	1	0.0150	3.00
2	$A_1[0\ 5)$	$B_2[3\ 6)$	1	0.0152	3.15
3	$A_1[0\ 5)$	$B_3[6\ 9)$	2	0.0154	3.30
4	$A_1[0\ 5)$	$B_4[9\ 12)$	2	0.0156	3.45
5	$A_1[0\ 5)$	$B_5[12\ \text{Max})$	3	0.0158	3.60
6	$A_2[5\ 10)$	$B_1[0\ 3)$	3	0.0160	3.75
7	$A_2[5\ 10)$	$B_2[3\ 6)$	5	0.0162	3.90
8	$A_2[5\ 10)$	$B_3[6\ 9)$	5	0.0164	4.05
9	$A_2[5\ 10)$	$B_4[9\ 12)$	8	0.0166	4.20
10	$A_2[5\ 10)$	$B_5[12\ \text{Max})$	8	0.0168	4.35
11	$A_3[10\ 15)$	$B_1[0\ 3)$	9	0.0170	4.50
12	$A_3[10\ 15)$	$B_2[3\ 6)$	9	0.0172	4.65
13	$A_3[10\ 15)$	$B_3[6\ 9)$	9	0.0174	4.80
14	$A_3[10\ 15)$	$B_4[9\ 12)$	6	0.0176	4.95
15	$A_3[10\ 15)$	$B_5[12\ \text{Max})$	6	0.0178	5.10
16	$A_4[15\ 20)$	$B_1[0\ 3)$	5	0.0180	5.25
17	$A_4[15\ 20)$	$B_2[3\ 6)$	5	0.0182	5.40
18	$A_4[15\ 20)$	$B_3[6\ 9)$	3	0.0184	5.55
19	$A_4[15\ 20)$	$B_4[9\ 12)$	3	0.0186	5.70
20	$A_4[15\ 20)$	$B_5[12\ \text{Max})$	2	0.0188	5.85
21	$A_5[15\ 20)$	$B_1[0\ 3)$	1	0.0190	6.00
22	$A_5[15\ 20)$	$B_2[3\ 6)$	1	0.0192	6.15
23	$A_5[15\ 20)$	$B_3[6\ 9)$	1	0.0194	6.30
24	$A_5[15\ 20)$	$B_4[9\ 12)$	1	0.0196	6.45
25	$A_5[15\ 20)$	$B_5[12\ \text{Max})$	1	0.0198	6.60

[0094] 组合表4中的不同天气变量的不同区间,得到天气变量等级如表5所示。

[0095] 表5阵风速度和雷电自然对数等级表

[0096]

时间段	1-8,0.5CB1, 0.5CB2		9-17,0.5CB2, 0.5CB3,0.5CB4		18-21,0.5CB1, 0.5CB3		22-24,0.5CB5		25-32,0.5CB4, 0.5CB5	
	WGS (m/s)	NLL (kA)	WGS (m/s)	NLL (kA)	WGS (m/s)	NLL (kA)	WGS (m/s)	NLL (kA)	WGS (m/s)	NLL (kA)
14:00	1.3	0.8	1.0	0.6	0.8	0.6	1.0	0.4	1.3	0.6
14:30	2.2	0.6	1.5	1.7	1.9	1.1	1.5	0.8	1.9	1.1
15:00	5.4	6.5	4.2	5.3	4.5	6.3	4.0	6.5	4.2	5.8
15:30	7.8	6.8	5.1	4.7	6.6	6.0	6.1	5.8	5.5	5.0
16:00	7.5	6.5	5.2	4.5	6.7	5.9	6.3	5.5	5.7	4.8
16:30	10.1	10.1	6.7	5.1	9.1	9.6	8.8	8.9	7.9	5.6
17:00	16.3	12.7	9.1	8.5	12.8	10.1	10.2	9.5	9.8	9.9
17:30	13.6	10.3	8.3	6.2	12.2	9.1	11.8	8.8	11.1	8.5
18:00	8.9	9.1	8.5	6.5	11.1	8.7	10.6	8.5	10.4	8.3
18:30	7.2	5.9	5.8	4.8	6.7	5.8	6.3	4.2	6.2	4.3
19:00	4.4	6.0	3.7	5.4	4.6	5.9	4.9	6.5	5.8	4.8

[0097] 步骤3:根据历史可靠性数据(如图5所示的在17:00重构前后单组件故障率),统计配电网线路在不同天气状态下的停电次数,得到输电线路在不同天气状态下的故障概率,建立多天气状态下输电线路故障模型。并划分时间间隔,如图6所示的单一天气条件下的时间间隔。

[0098] 步骤4:建立配电网静态重构模型。目标函数为最小化配电网运行风险,约束条件包括节点电压约束、潮流约束、拓扑结构约束、开关动作次数约束等。

[0099] 步骤5:考虑配电网运行安全要求,确定允许的配电网运行风险变化阈值。在此基础上,为避免配电网运行风险变化可能造成的开关动作频率,根据配电网运行风险变化划分动态重构时段。

[0100] 首先根据固定时间间隔把一天划分为一定数量的时段,然后假设每一时段均进行重构,计算所有时段配电网重构前后的运行风险值。接着计算所有时段配电网重构前后运行风险值的差值。

[0101] 当该差值大于允许的配电网运行风险变化阈值时,则该时段确实需要重构;否则,无需重构。最后把所有相邻的无需重构的时段合并。之后重复该过程,直至不能再合并时段为止。此时,各时段即为最终动态重构时段。表6和表7分别表示不考虑天气条件的重构结果与考虑到天气条件的重构结果。

[0102] 表6不考虑天气条件的重构结果

[0103]

时间	Opened switches	I_{sys}	I'_{sys}
14:00	/	575.39	/
14:30	/	572.21	/
15:00	5-25,7-20,8-14,10-11,17-32	571.93	555.45
15:30	/	555.03	/
16:00	/	554.28	/
16:30	/	556.77	

17:00	/	560.89	/
17:30	/	563.96	/
18:00	/	565.65	/
18:30	5-25,7-20,9-10,12-13,17-32	567.33	553.71
19:00	/	553.18	/

[0104] 表7考虑到天气条件的重构结果

[0105]

Time	Opened switches	I_{sys}	I'_{sys}
14:00	/	575.39	/
14:30	/	572.21	/
15:00	5-25,7-20,8-14,10-11,17-32	595.74	564.87
15:30	/	570.92	/
16:00	/	575.53	/
16:30	/	590.37	/
17:00	7-20,8-14,10-11,13-14,25-26	619.69	601.58
17:30	/	591.28	/
18:00	/	582.96	/
18:30	5-25,7-20,8-9,8-14,15-16	578.75	563.24
19:00	/	560.54	/

[0106] 步骤6:综合静态重构模型和动态重构时段,当配电网运行风险变化超过允许的阈值,对配电网进行重构,利用量子遗传算法,求解重构模型,优化配电网运行状态降低运行风险,这就是配电网动态重构方法。

[0107] 以上所述,仅为本发明中的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉该技术的人在本发明所揭露的技术范围内,可理解想到的变换或替换,都应涵盖在本发明的包含范围之内,因此,本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。

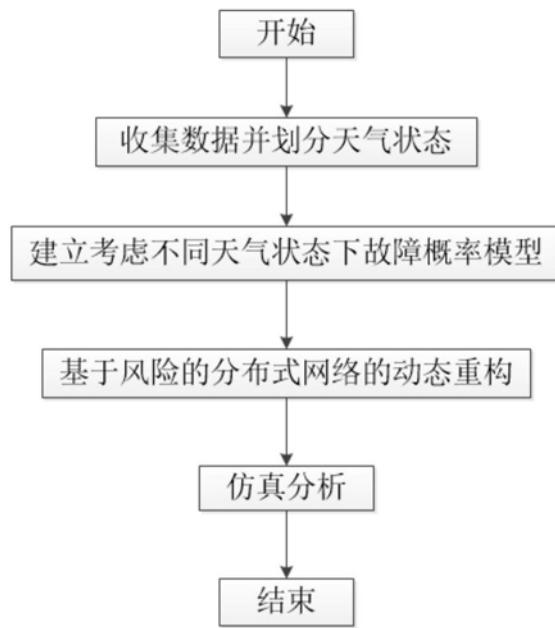


图1

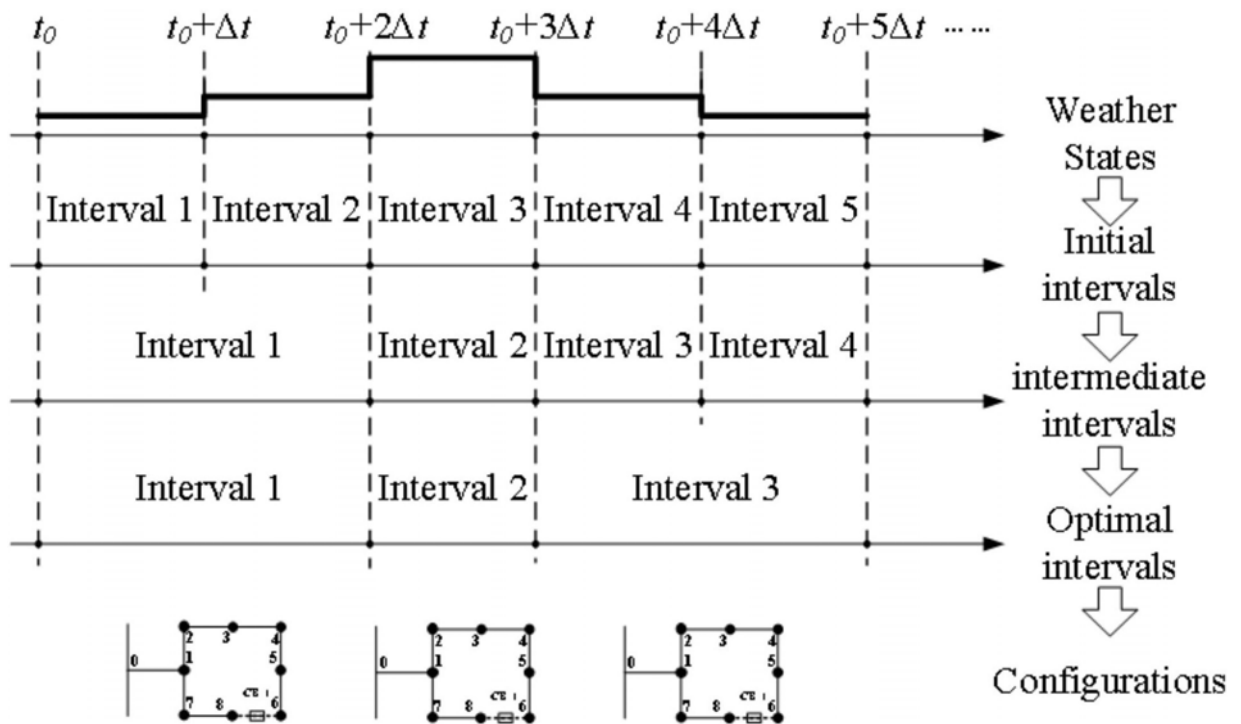


图2

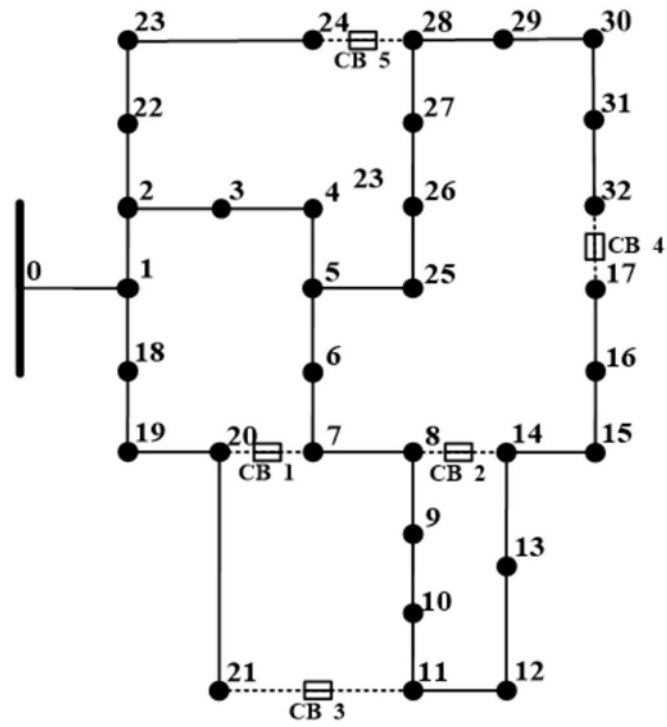


图3

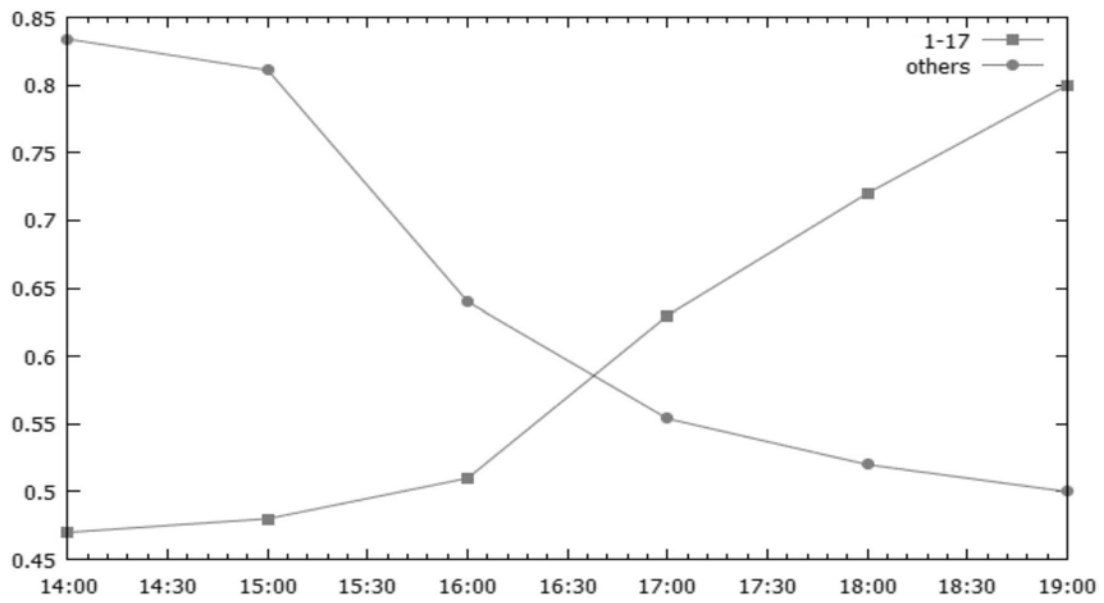


图4

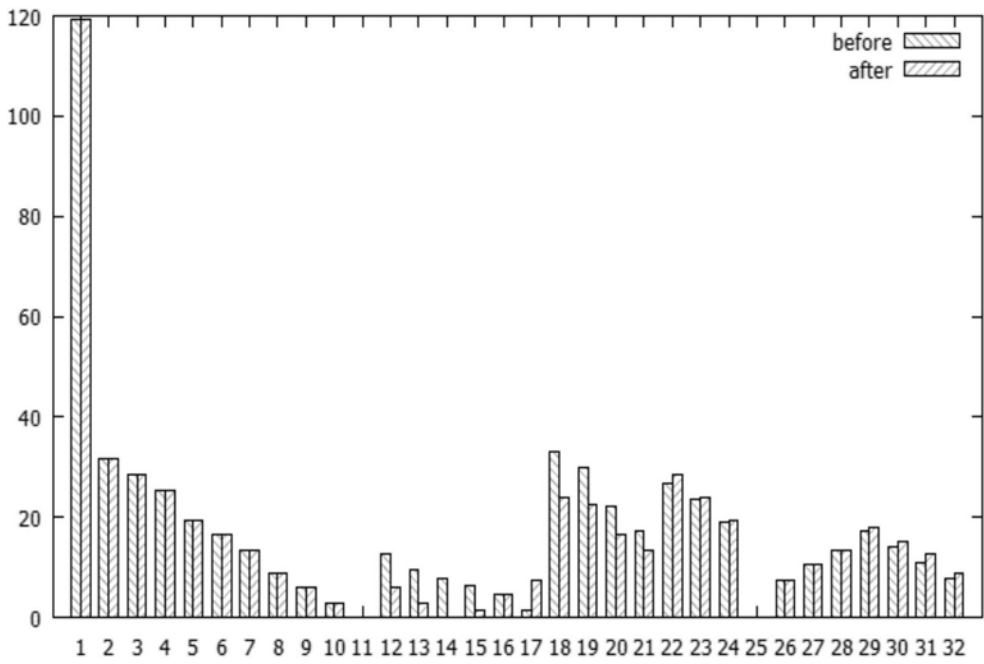


图5

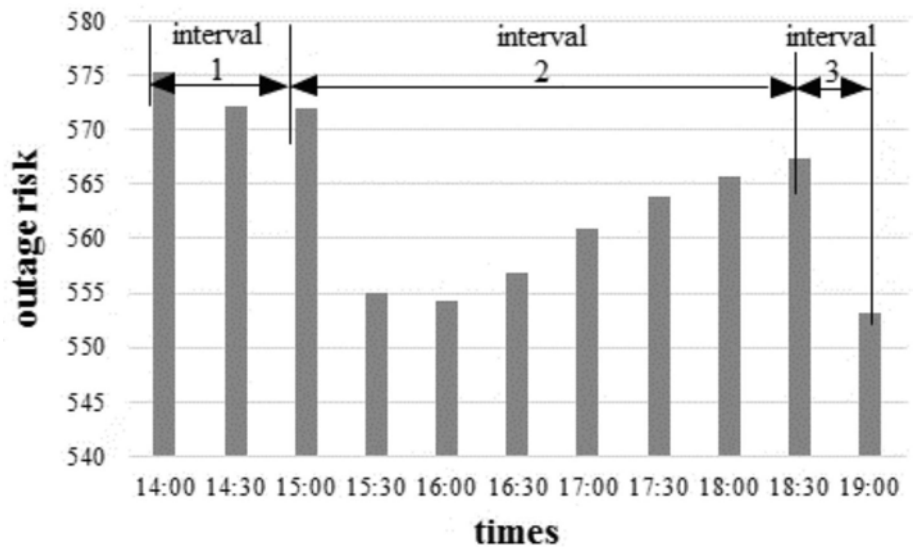


图6