

广州配电网故障停电事故的自组织临界特征

钟庆¹, 张哲¹, 许中², 崔晓飞², 刘峰¹, 王钢¹, 汪隆君¹

(1. 华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510641;

2. 广州供电局有限公司 电力试验研究院, 广东 广州 510000)

摘要: 利用配电网可靠性的统计数据研究配电网停电事故的自组织临界(SOC)特性为提高配电网运行水平、改善供电可靠性提供理论依据。因此,在广州市 10 kV 配电网可靠性统计数据的基础上,选取了故障停电事故的停电时户数和停电持续时间为分析对象;然后,利用最小二乘法,在双对数坐标系下,对分析对象的标度和频度的关系进行线性拟合,通过 F 检验,校核标度、频度的线性相关关系,初步验证了 10 kV 配电网故障停电事故的 SOC 特性;最后,给出了 SOC 特性对配电网运行的指导意义。

关键词: 配电网; 自组织临界性; 幂律分布; 供电可靠性; 停电事故

中图分类号: TM 761

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.04.016

0 引言

随着电网建设的不断深入,电网大规模区域性互联成为电网发展的必然趋势。但与此同时,电网各区域大规模互联使得电网连锁性故障发生的概率增大,严重威胁电网的正常运行^[1]。连锁性故障往往由较小的故障引起,如某一继电保护装置的拒动或误动、控制措施不当等,电网的大规模互联为故障传播提供了便利,最终导致电网的连锁性故障,发生大规模停电事故。

Bak P 等人模拟了 50 格点 \times 50 格点的沙堆模型,模拟的结果证明了沙堆模型发生崩溃的频率和规模服从幂律分布,从而提出自组织临界 SOC(Self-Organized Criticality)特性^[2]的概念。我国学者从近十几年来开始关注电力系统大停电事故的 SOC 特性^[3]。文献[4]利用权威的资料统计了 1981—2002 年我国(不含台湾省)电网发生的重大停电故障,得出了我国电网以及东北、华中、西北及南方局网停电故障均具有 SOC 特性。电力系统大停电事件的 SOC 特性为电网级联故障的分析提供了理论基础和科学依据^[5-6],并有望形成一整套的科学理论体系^[7]。随着电网规模和电力技术的发展,我国学者随即对电网的 SOC 特性开展了大量的深入研究工作。在研究对象上,文献[9]针对新出现的大规模风电接入电网的 SOC 特性开展了分析,文献[10]针对交直流互联系统的 SOC 特性开展了研究。在 SOC 状态的演化机理和辨识方法上,文献[11]基于复杂理论中的同配性对电力系统 SOC 特性进行辨识,结合线路平均负

载率和潮流熵对系统状态进行识别。文献[12-13]分别利用联合加权熵和加权网络拓扑熵的方法跟踪电网的运行状态和网架结构变化,揭示了电网的 SOC 演化机理。在 SOC 特性的应用方面,文献[14]利用电网的 SOC 特性建立了电网脆弱线路的辨识模型,实现了脆弱线路的有效辨识。

但目前关于电网停电事故的 SOC 特性研究所利用的统计数据均来自大电网中发生的重大停电事故。配电网的网架结构虽然与输电网不同,但是由于其复杂程度不断增加,因此有必要针对配电网中的停电故障开展探索性分析。配电网可靠性是电力系统可靠性的三大组成部分之一,相对于发电及输电系统的可靠性研究,配电环节的可靠性研究一直处于较弱的水平^[15]。大约有 80% 的停电事故是由配电系统的故障造成的。文献[16]和[17]分别对濮阳配电网和洪泽地区配电网的配电网故障进行分析,通过长时间的观察,利用时间序列的长程自相关性,计算配电网日故障次数概率,从而发现了配电网故障的幂律分布。由于以往配电网的故障数据收集往往比较困难,需要长时间的积累才可获得相应的研究结论,但随着配电网可靠性统计数据的完整性逐年提高,利用配电网可靠性统计数据研究某一具体区域配电网中停电事故是否具有 SOC 特性,可以降低配电网 SOC 特性的研究难度,同时对于配电网运行水平的提高和防止配电网停电事故的发生具有十分重要的意义。

本文以 2013 年内广州市 10 kV 配电网发生的所有故障停电可靠性统计数据作为原始资料,应用数据分析方法对配电网可靠性统计指标进行分析,利用最小二乘法,基于双对数坐标在不同的标度下线性拟合对故障停电的停电时户数和停电持续时间的标度-频度关系,得到停电时户数和停电持续时间的分形分维特性,结果显示这二者服从幂律分布,

收稿日期: 2016-06-11; 修回日期: 2017-03-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51307061); 中国南方电网有限责任公司重点科技项目(GZHKJ00000002)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51307061) and Key Science & Technology Program of China Southern Power Grid(GZHKJ00000002)

从而初步证明了广州市 10 kV 配电网故障停电事故具有 SOC 特性,并初步探讨了配电网 SOC 特性对配电网运行的意义。

1 SOC 特性

SOC 特性可用于解释大自然复杂性内在机制和广延耗散动力系统的组织原则,其数学表示为事物发生的频度和标度服从幂律分布。SOC 理论主要是试图解释“幂律行为”背后的物理机制。自组织是指某个状态主要由系统内部的组分相互影响、相互作用而形成,不受外界因素控制或主导;临界状态是指一种极其敏感的状态,局部小变化的影响可以放大、传递至整个系统。SOC 特性具有长程时空关联与连通性和时空分形结构 2 个根本特征,该理论认为具有幂律分布特性的耗散系统是一种 SOC 系统,即系统通过自组织过程从非临界状态逐渐演化到临界状态,SOC 理论即是解释幂律分布物理机制的一种理论。

具有 SOC 特性的系统包含多个组分,这些组分之间、组分与外界环境之间有着非常复杂的相互作用,这些复杂的相互作用使得每个系统作为一个统一的整体产生了自组织过程,从而获得了单元独自无法获得的集体特征和整体行为,包括长程时空关联与连通性及时空分形结构。

2 配电网停电事故数据分析方法

2.1 幂律分布及其无标度特性

分形指系统组成部分以某种方式与整体相似的几何形态,或在较为宽泛的尺度范围内没有特征长度但具有自相似性或自仿射性的图形和现象^[18-19]。自然界诸多复杂的现象都具有统计上的自相似性。根据分形理论,如果某物理量的标度 x 与标度的频度之间满足式(1)描述的关系,则该物理量服从幂律分布,具有分形分维特性。

$$f(x) = cx^{-D} \quad (1)$$

其中, c 为常数; D 为分形维值,即幂律值。

将式(1)等号两端取自然对数,可得:

$$\ln f(x) = \ln c - D \ln x \quad (2)$$

则在双对数坐标下,式(1)可以表示为如式(2)所示的线性关系。

对于一个函数 $f(x)$,如果对任意给定常数 a ,存在常数 b 使得 $f(x)$ 满足:

$$f(ax) = bf(x) \quad (3)$$

则称 $f(x)$ 为无标度(scale-free)的。

假设函数 $f(x)$ 满足如式(1)所示的幂律分布,则有:

$$f(ax) = c(ax)^{-D} = a^{-D}f(x) \quad (4)$$

因此,幂律分布为无标度分布。从而只需选定一个标度证明物理量满足幂律分布即可证明该物理量具有 SOC 特性。

2.2 双对数坐标下的线性拟合及校验

根据式(2),当分析物理量的幂律分布特性时,可在双对数坐标下对物理量的标度和频度进行线性拟合及校验。

为在双对数坐标下校验物理量的标度与频度的线性关系,记 \hat{y} 为频度对数函数 $\ln f(x)$ 的一次实验观测值的估计值, \hat{a} 和 \hat{b} 分别为式(2)中 $\ln c$ 和 $-D$ 的估计值,则式(2)可简化为:

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b} \ln x \quad (5)$$

记 x_i 和 \bar{x} 分别为标度对数值 $\ln x$ 的样本值和均值, y_i 和 \bar{y} 分别为频度对数函数 $\ln f(x)$ 的样本值和均值,设定中间变量 l_{xx} 和 l_{xy} 为:

$$\begin{cases} l_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})x_i \\ l_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})y_i \end{cases} \quad (6)$$

利用最小二乘法对式(6)进行线性拟合,可得:

$$\begin{cases} \hat{b} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \\ \hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \end{cases} \quad (7)$$

采用 F 检验法对线性拟合结果进行校验。根据 F 检验法,令 \hat{y}_i 为样本值 y_i 的估计值,分别定义统计量 S_e 和 S_R 如式(8)和式(9)所示。

$$S_e = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

$$S_R = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (9)$$

则 F 统计量为:

$$F = \frac{(n-2)S_R}{S_e} \quad (10)$$

其中, n 为线性拟合的样本容量。

比较计算得出的 F 统计量和在给定的显著性条件 α 下的 F 分布分位数,若 $F \geq F_{1-\alpha}(1, n-2)$,则线性相关关系显著;若 $F < F_{1-\alpha}(1, n-2)$,则线性相关关系不显著。

3 配电网停电事故幂律分布特征

3.1 数据来源

本文利用 2013 年广州市 10 kV 配电网全年的停电事故数据作为原始数据。该地区全年累计停电时户数为 137 929.38 h·户,故障停电的时户数为 52 147.04 h·户,占总时户数的 37.81%。全年共停电 1605 次,故障停电 744 次,占总停电次数的 46.35%。按停电时户数统计结果,不同停电事故所占比重如图 1 所示。按照停电次数统计,不同停电事故所占比重如图 2 所示。

由于预安排停电具有可预测性,因此本文的研究对象仅为配电网停电事故中的故障停电部分。本文

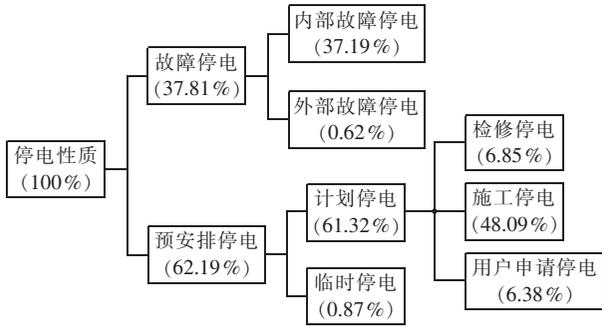


图 1 不同停电事故的停电时户数统计结果
Fig.1 Statistics of de-energized households for different outage types

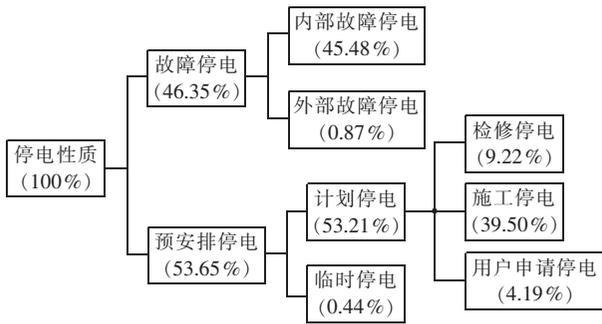


图 2 不同停电事故的停电次数统计结果
Fig.2 Statistics of times for different outage types

选取了广州市 2013 年故障停电的停电时户数和停电持续时间这 2 个配电网可靠性指标作为分析对象,在选定标度下对标度-频度关系进行双对数坐标的线性拟合并进行校核,分析 10 kV 配电网故障停电事故是否具有幂律分布特征。若在给定的显著性条件下,二者满足线性关系,则可认为该可靠性指标服从幂律分布,从而认为配电网故障停电事故具有 SOC 特性。

3.2 停电时户数的幂律分布

广州市 10 kV 配电网 2013 年发生的 744 次故障停电事故中,单次停电的最大时户数为 1088.267 h·户,最小时户数为 0.08 h·户。选取停电时户数为分析对象,以 50 h·户为标度,统计不同标度对应的停电次数,标度-频度统计结果如表 1 所示。在双对数坐标下,利用最小二乘法对停电时户数的标度-频度关系进行线性拟合,结果如图 3 所示。

在双对数坐标下拟合停电时户数的标度-频度线性相关关系为:

$$\ln N = 10.142 - 1.198 \ln r \quad (11)$$

其中, r 为选定的标度; N 为标度对应的频度,即为对应的停电次数。

对线性拟合结果进行校核,计算得出:

$$F = \frac{(n-2)S_R}{S_e} = 1186.9214 \quad (12)$$

由上述结果可见,线性拟合样本数为 10 时,计算得出的 F 统计值远大于给定显著性条件 $\alpha = 0.05$

表 1 停电时户数标度-频度统计结果
Table 1 Scale-frequency statistics of de-energized household·hour

标度/(h·户)	频度/次	标度/(h·户)	频度/次
> 50	219	> 300	30
> 100	111	> 350	24
> 150	60	> 400	19
> 200	43	> 450	17
> 250	36	> 500	13

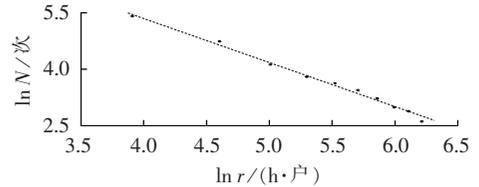


图 3 标度为 50 h·户时故障停电时户数的标度-频度双对数图

Fig.3 Log-log plot of scale-frequency relation on scale of 50 household·hour for emergency outage

下的 F 分布分位数,即认为 $\ln N$ 与 $\ln r$ 线性关系显著,此时分形维值为 $D = 1.198$ 。

选定标度为 10 h·户,在双对数坐标下,利用最小二乘法对停电时户数的标度-频度关系进行线性拟合,结果如图 4 所示。线性拟合样本数为 100 时,计算所得 F 统计值远大于给定显著性条件 $\alpha = 0.05$ 下的 F 分布分位数,即 $\ln N$ 与 $\ln r$ 的线性关系仍然存在,此时分形维值为 $D = 1.1508$,与标度为 50 h·户时基本一致。因此,广州市 10 kV 配电网故障的停电时户数服从幂律分布,且符合无标度规律。

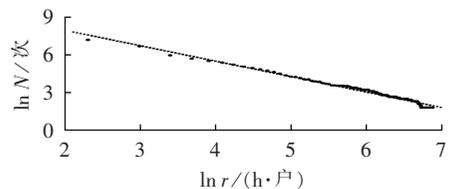


图 4 标度为 10 h·户时故障停电时户数的标度-频度双对数图

Fig.4 Log-log plot of scale-frequency relation on scale of 10 household·hour for emergency outage

3.3 停电持续时间的幂律分布

广州市 10 kV 配电网 2013 年所有故障停电事故中,单次事故停电持续时间最大值为 118.0333 h,最小值为 0.0167 h。以 0.5 h 为标度,统计不同标度对应的停电次数,标度-频度关系统计结果如表 2 所示。在双对数坐标下,利用最小二乘法对停电持续时间的标度-频度关系进行线性拟合,结果如图 5 所示。

在双对数坐标下拟合停电持续时间的标度-频度线性相关关系为:

$$\ln N = 5.8169 - 0.7812 \ln s \quad (13)$$

表 2 停电持续时间的标度-频度统计结果

Table 2 Scale-frequency statistics of outage duration

标度/h	频度/次	标度/h	频度/次
>0.5	536	>3	145
>1	356	>3.5	129
>1.5	255	>4	115
>2	199	>4.5	101
>2.5	163	>5	90

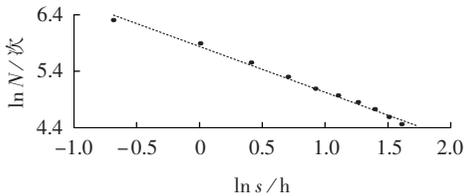


图 5 标度为 0.5h 时故障停电持续时间的标度-频度双对数图

Fig.5 Log-log plot of scale-frequency relation on scale of 0.5 hour for emergency outage

其中, s 为选定的标度; N 为标度对应的频度。

对线性拟合结果进行校核, 计算得出:

$$F = \frac{(n-2)S_R}{S_e} = 1465.5309 \quad (14)$$

由计算结果可知, 线性拟合样本数为 10 时, 计算出的 F 统计值远大于给定显著性条件 $\alpha=0.05$ 下的 F 分布分位数, 则 $\ln N$ 与 $\ln s$ 线性相关关系显著, 分形维值为 $D=0.7812$ 。

选定标度为 0.1 h, 在双对数坐标下, 利用最小二乘法对停电持续时间的标度-频度关系进行线性拟合, 结果如图 6 所示。计算出的 F 统计值远大于给定显著性条件 α 下的 F 分布分位数, 则 $\ln N$ 与 $\ln s$ 的线性相关关系仍然存在, 此时分形维值为 $D=0.7477$, 与标度为 0.5 h 时基本一致。因此广州市 10 kV 配电网故障停电的停电持续时间服从幂律分布, 且符合无标度规律。

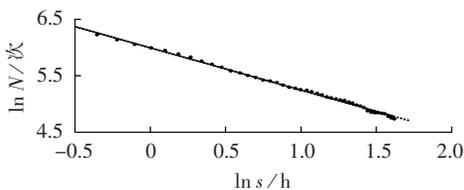


图 6 标度为 0.1h 时故障停电持续时间的标度-频度双对数图

Fig.6 Log-log plot of scale-frequency relation on scale of 0.1 hour for emergency outage

采用停电时户数和停电持续时间进行统计分析, 其分形维值均落在 0.5~1.5 范围内, 与电力系统大停电事件的分析结果接近, 表明配电网停电规模分布也存在长程时空关联性。

4 SOC 特性的成因与意义

图 7 给出了双对数坐标下计划停电时的停电时户数的标度-频度散点图, 由图可以发现其幂律分布特征不如故障停电明显。因此配电网故障停电事故的 SOC 特性是电力系统大停电规模分布演化的标度不变的分形特性的延伸, 与自然界的物理规律密不可分。

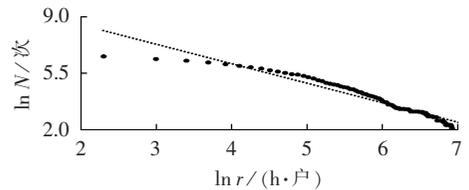


图 7 标度为 10h·户时计划停电时户数的标度-频度双对数图

Fig.7 Log-log plot of scale-frequency relation on scale of 10 household-hour for planned outage

另外 SOC 特性认为系统通过自组织过程从非临界状态逐渐演化到临界状态, 因此, 寻找能够阻止或者减缓配电网非临界状态逐渐演化到临界状态的作用力是提高系统稳定性的途径之一。配电网故障停电的停电时户数和停电持续时间均服从幂律分布, 因此配电网故障停电事故具有 SOC 特性, 从而对配电网运行具有以下指导意义。

a. 在配电网可靠性统计分析方面, 由于幂律分布属于无标度分布, 因此无论配电网可靠性指标采用何种与时间相关的标度(尺度)进行统计, 都将服从幂律分布, 因此在时间尺度上细化配电网可靠性指标统计工作对提升供电可靠性的意义不大。

b. 在配电网可靠性预测方面, 配电网停电事故的幂律分布特性可应用于建立配电网供电可靠性的评估模型中, 为配电网供电可靠性的预测工作提供有利的工具。

c. 在配电网可靠性提升措施方面, 配电网停电事故的幂律分布特性揭示了一些停电持续时间长、停电范围大的小概率事件对配电网供电可靠性的影响较大。因此供电企业提高供电可靠性的途径应为利用数据分析, 找到配电网的 SOC 点, 通过配电网规划和技术改造, 改善该薄弱环节, 以提高配电网供电可靠性提升措施的针对性。

d. 由于配电网内各组分之间的相互作用非常复杂, 相互作用力可能涵盖系统的规划建设、运行维护、继电保护和自动化装置等多个方面, 而作用力的复杂性是制约 SOC 特性应用的重要瓶颈之一。充分利用多学科相互协作和复杂性的科学理论, 通过配电网监测数据的定性和定量分析, 才能找到提升配

电网供电可靠性的关键所在。

5 结论

本文用故障停电的停电时户数和停电持续时间这2个供电可靠性指标,针对不同标度进行双对数坐标下的线性拟合,从而初步证明广州市10 kV配电网故障停电事故具有SOC特性。特性的发现验证了直接利用可靠性统计数据分析配电网故障SOC特性的可能,为配电网提升供电可靠性工作提供了新的思路,明确了找到供电可靠性薄弱环节才是提升供电可靠性的关键所在,而非细化统计工作或大面积推广供电可靠性提升措施,并可为供电可靠性评估和预测提供相应的模型。

参考文献:

- [1] 曹一家,王光增. 电力系统复杂性及其相关问题研究[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):5-10.
CAO Yijia,WANG Guangzeng. Research on power system complexity and related topics[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(2):5-10.
- [2] BAK P. 大自然如何工作——有关自组织临界性的科学[M]. 李伟,蔡勋,译. 武汉:华中师范大学出版社,2001:6-10.
- [3] 曹一家,江全元,丁理杰. 电力系统大停电的自组织临界现象[J]. 电网技术,2005,29(15):1-5.
CAO Yijia,JIANG Quanyuan,DING Lijie. Self-organized criticality phenomenon for power system blackouts[J]. Power System Technology,2005,29(15):1-5.
- [4] 于群,郭剑波. 中国电网停电故障统计与自组织临界性特征[J]. 电力系统自动化,2006,30(2):16-21.
YU Qun,GUO Jianbo. Statistics and self-organized criticality characters of blackouts in China electric power systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(2):16-21.
- [5] 邓慧琼,艾欣,赵亮,等. 大停电自组织临界特征的若干问题探讨[J]. 电网技术,2007,31(8):42-46.
DENG Huiqiong,AI Xin,ZHAO Liang,et al. Discussion on several problems of self-organized criticality of blackout[J]. Power System Technology,2007,31(8):42-46.
- [6] 丁道齐. 用复杂网络理论分析电网连锁性大停电事故机理[J]. 中国电力,2007,40(11):25-32.
DING Daoqi. Applying complex network theory to analyze mechanism of cascading large blackouts failure[J]. Electric Power,2007,40(11):25-32.
- [7] 梅生伟,薛安成,张雪敏. 电力系统自组织临界特性与大电网安全[M]. 北京:清华大学出版社,2009:1-3.
- [8] 但扬清,刘文颖,朱艳伟,等. 含大规模风电集中接入的电网自组织临界态辨识[J]. 电力自动化设备,2016,36(5):127-133.
DAN Yangqing,LIU Wenying,ZHU Yanwei,et al. Self-organized critical state identification of power grid with centralized integration of large-scale wind power[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(5):127-133.
- [9] 李明,唐晓军,但扬清,等. 大规模风电集中接入电网的自组织临界态辨识指标提取[J]. 电网技术,2015,39(12):3421-3425.
LI Ming,TANG Xiaojun,DAN Yangqing,et al. Extraction of physical indicators to identify grid self-organized critical state with centralized large-scale wind power[J]. Power System Technology,2015,39(12):3421-3425.
- [10] 屠景哲,甘德强,于洋,等. 直流输电对交直流互联系统自组织临界性的影响分析[J]. 电力系统自动化,2012,36(11):7-14.
TU Jingzhe,GAN Deqiang,YU Yang,et al. DC transmission impact analysis on AC/DC interconnected system self-organized criticality[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(11):7-14.
- [11] 曹一家,张宇栋,林辉,等. 基于同配性的电力系统自组织临界性识别[J]. 电力自动化设备,2013,33(7):6-12.
CAO Yijia,ZHANG Yudong,LIN Hui,et al. Power system self-organized criticality recognition based on assortativity[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(7):6-12.
- [12] 刘文颖,蔡万通,张宁,等. 基于联合加权熵的电网自组织临界状态演化[J]. 中国电机工程学报,2015,35(6):1363-1370.
LIU Wenying,CAI Wantong,ZHANG Ning,et al. Evolution of self-organizing of grid critical state based on united weighted entropy theory[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(6):1363-1370.
- [13] 刘文颖,蔡万通,张宁,等. 基于加权网络拓扑熵的电网自组织临界状态演化[J]. 中国电机工程学报,2015,35(22):5740-5748.
LIU Wenying,CAI Wantong,ZHANG Ning,et al. Evolution of grid's self-organizing critical state based on weighted network topology entropy[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(22):5740-5748.
- [14] 苏慧玲,李扬. 基于电力系统复杂网络特征的线路脆弱性风险分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(2):101-107.
SU Huiling,LI Yang. Line vulnerability risk analysis based on complex network characteristics of power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(2):101-107.
- [15] BILLINTON R. BILLINTON J E. Distribution system reliability indices[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1989,4(1):561-568.
- [16] 倪岱峰,杨军选,苏盛,等. 濮阳配电网故障的自组织临界性及其诱因[J]. 电网技术,2011,35(1):72-75.
CHAO Daifeng,YANG Junxuan,SU Sheng,et al. Self-organized criticality and its cause of faults in Puyang distribution system[J]. Power System Technology,2011,35(1):72-75.
- [17] 葛玉伟,周战,陈万田. 洪泽地区配电网故障幂律分布特性[J]. 现代电子技术,2011,34(6):172-174.
GE Yuwei,ZHOU Zhan,CHEN Wantian. Power laws of Hongze distributing network faults[J]. Modern Electronics Technique,2011,34(6):172-174.
- [18] MANDELBMT B B. The fractal geometry of nature[M]. San Francisco,USA:W. H. Freeman and Co.,1982:1-6.
- [19] 汪富泉,李后强. 分形几何与动力系统[M]. 哈尔滨:黑龙江教育出版社,1993:1-3.

作者简介:



钟庆

钟庆(1978—),男,江西龙南人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电力系统运行分析与控制、电能质量分析与控制(E-mail:epqzhong@scut.edu.cn);

张哲(1993—),女,山东烟台人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量的分析(E-mail:602348920@qq.com);

许中(1986—),男,安徽舒城人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电能质量分析与控制(E-mail:348867958@qq.com)。

(下转第121页 continued on page 121)

Improved PSCOPF model based on risk management and alternative iteration algorithm

WANG Chaoqun, WEI Hua, WU Siyuan

(Guangxi Key Laboratory of Power System Optimization and Technology, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The low computational efficiency and excessively-conservative results of PSCOPF (Preventive Security-Constrained Optimal Power Flow) restrict its application, aiming at which, an improved model with controllable risk and an alternative iteration algorithm are proposed. According to the practical operation of power system, deviations are introduced to the operating variables, such as active power of generator, voltage of reactive source, etc. The minimum square sum of deviations is taken as the comprehensive risk index to construct the complementary voltage constraints for decomposing the original large-scale PSCOPF problem into a PSCOPF problem with less faults and a constrained power-flow problem. Alternative iteration is carried out between two problems to obtain an uncontrollable fault set and a controllable fault set for solving the entire problem. The results of tests for standard IEEE 118-bus system, IEEE 300-bus system and an actual 703-bus 241-fault system show that, without system security debasement, the proposed model and algorithm has better economy and higher computation efficiency, and compared with the centralized computation of traditional model, its memory occupation is decreased by 80 percent, and its serial and parallel speedups are more than 5 and 10 times respectively.

Key words: preventive security constraint; optimal power flow; risk control; alternative iteration; constrained power flow; parallel computing; models

(上接第 113 页 continued from page 113)

SOC characteristics of power-supply failure of Guangzhou distribution network

ZHONG Qing¹, ZHANG Zhe¹, XU Zhong², CUI Xiaofei², LIU Feng¹,

WANG Gang¹, WANG Longjun¹

(1. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. Electric Power Test & Research Institute, Guangzhou Electric Power Company, Guangzhou 510000, China)

Abstract: The SOC (Self-Organized Criticality) characteristics of distribution network power-supply failure can be researched based on the statistics of power-supply reliability, which may provide the theoretical basis for improving the operational level and power-supply reliability of distribution network. Based on the power-supply reliability data of Guangzhou 10 kV distribution network, the quantity of de-energized household and the duration of emergency outage are chosen as the statistical objects. The linear relationship between the scale and frequency of the chosen objects on log-log scale is fitted by the least squares method and validated by F -test, which preliminarily verifies the SOC characteristics of 10 kV distribution network power-supply failure. The operational significance of SOC characteristics to the operation of distribution network is given.

Key words: distribution network; self-organized criticality; power-law distribution; power-supply reliability; power-supply failure