# 基于风能能源的配电网可靠性评估

文/太原理工大学电气与动力工程学院　翁丽娟

面对新形势下的能源发展，无疑对电力系统的改造与建设提出了更高的挑战，一是要在现有的电网系统中接入一定规模的分布式电源，使得对电源的利用更趋向多样化，尤其是那些可再生能源的发电系统，如风力发电，光伏发电；二是不断的挖掘用户对电力潜能的需求，适当引导用户参与到电网的经济调度和运行中来，共同承担与维护能源的可持续发展。

随着分布式新能源在电网中所占的比重逐渐增大，其出力的随机性对系统安全性和稳定性的影响也越来越大，因此在进行配电网规划时，如何合理的配置分布式新能源成为人们研究的热点。

本文将以风能为例，同时接入储能系统，提出了基于风能能源的配电网可靠性评估模型，并对算例进行仿真分析，对其可靠性进行详细的评估。

## 配电网可靠性评估指标

常用的系统可靠性指标主要有：系统平均停电频率指标（SAIFI）、系统平均停电持续时间指标（SAIDI），如式（1）~式（4）所示。其他系统可靠性指标，如用户平均停电持续时间指标（CAIDI），系统可靠性指标（ASAI），系统供电量不足指标（ENS）可通过相应的负荷停电时间、停电次数和节点的平均负荷量计算。

$$SAIFI=\frac{\sum\lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (1)$$

式中，$\lambda_i$和$N_i$分别为负荷点$i$的平均故障率和用户数。

$$SAIDI=\frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (2)$$

式中，$U_i$为负荷点$i$的平均停电时间。

$$\lambda_i=\sum_{j=1}^{n}\lambda_{i,j} \quad (3)$$

$$U_i=\sum_{j=1}^{n}U_{i,j} \quad (4)$$

式中，$\lambda_{i,j}$为分支馈线$j$故障所造成的负荷点$i$停电的故障率，$U_{i,j}$为其停电持续时间。

## 配电网可靠性评估方法

配电网可靠性评估方法流程如图1所示。

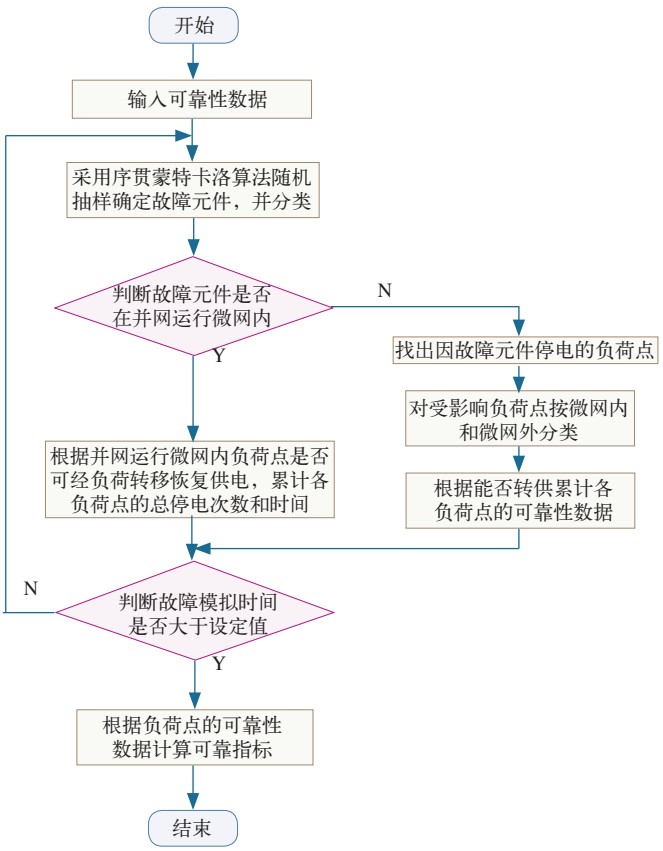


图1　配电主网可靠性评估方法流程图

## 算例分析

本文使用 IEEE33节点程序作为基本的案例，为了简化计算过程，对其没有给出的参数指定如下：程序中线路出现的故障率是0.065（次/km·年），修复时间是5（h/次），连接开关的故障率是0.006（次/年），修复时间是4（h/次），可再生DG强迫停运率是4%，风速情况不需要对断路器和变压器的影响进行考虑。修改后的IEEE33节点算例如图2所示，联机开关使用虚线进行标记。在这当中MS主要是指DG、存储设施或者是两者的结合。按照目前有关微电源装机容量的安装经验，本算例配置结果见表1，蓄电池初始容量默认为满格状态。

如果线路6－7出现了故障，为了能够确保全部负荷最大程度的进行供电，就要对其中的配电网负荷实行相应的转化。负荷转化的时候，如果发生了潮流越限，就可以减低对应的边界负荷。从整体网络消耗和电压消耗的减少过程中挑选出两种具体可行的计划方案，也就是方案I和方案II，在这当中方案I的系数指标优于方案II。

表1　风/储微网微电源容量配置结果

| | DG1（MW） | BT1（MW·h） | DG2（MW） | BT2（MW·h） | DG3（MW） | BT3（MW·h） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 方案I | 0.25 | 0.5 | 0.625 | 1.25 | 0.5 | 1.0 |
| 方案II | 0.25 | 0.5 | 0.625 | 1.25 | 0.5 | 1.0 |

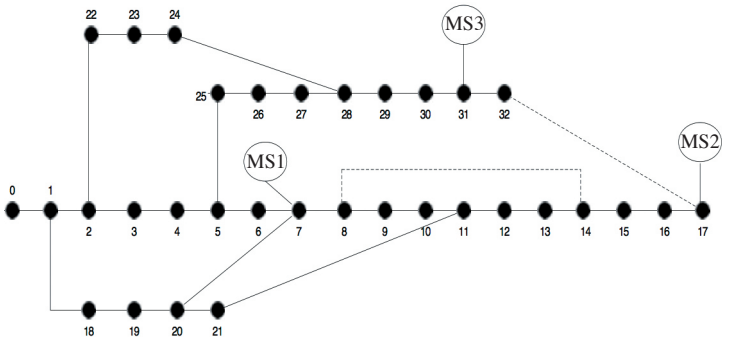


图2　含微网的IEEE33节点配电网接线图

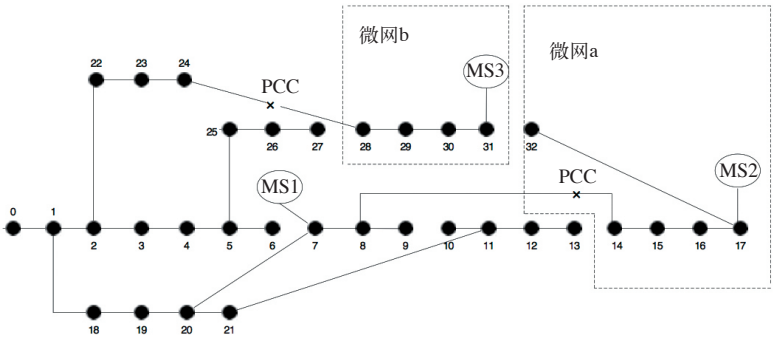


图3　方案I：打开6－7、9－10、13－14、27－28和31－32开关

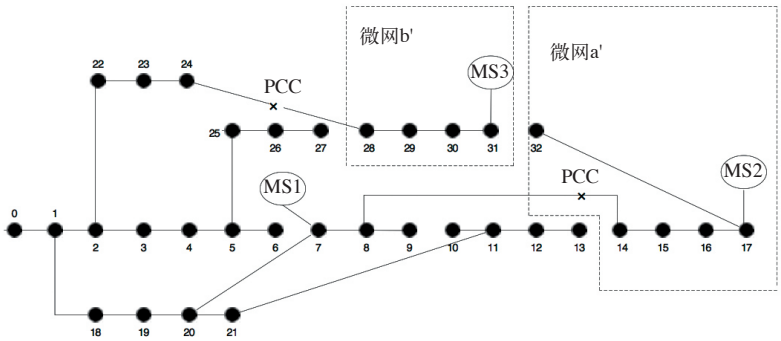


图4　方案II：打开6－7、10－11、13－14、17－32和27－28开关

方案I（如图3所示）：打开6－7、9－10、13－14、27－28和31－32 开关，闭合 7－20、8－14、11－21、24－28和17－32开关。在图3中，微网a和微网b依次使用虚线进行描画。PCC点切开概率与连接开关的故障率是一样的。MS1与配电网主电源根节点的间隔较近，如果进行孤岛运转就会出现成配电主网大范围停电，因此也就不可以同附近负荷形成微网。

方案I和方案II相比，主要区别是MS2和MS3构成的微网所供的负荷区域和部分联络开关接法不同。方案II（如图4所示）：打开6－7、10－11、13－14、27－28 和 17－32开关。闭合 7－20、8－14、11－21和 24－28开关。在图4中，微网a'和微网b'分别用虚线框出。

需要判断方案I和方案II微网具体运行方式。根据微网a（微网a'）和微网b（微网b'）内所有的电源有功出力之和与相应负荷需求量相比较，可求得方案I和方案II的微网可孤岛概率，见表2。从表2中很明显可以看出两种方案下都是微网a（微网a'）可孤岛概率远远大于微网b（微网b'），所以可靠性评估时认为微网a（微网a'）孤岛运行，微网b（微网b'）与配电网主网并网运行。不考虑微网a（微网a'）和微网b（微网b'）同时孤岛运行，因为发生的概率极低，不影响最终可靠性评估结果。

方案I和方案II中，MS和配网电源根节点出力见表3，配电主网的系统可靠性指标计算结果见表4。从表4中可看出方案I和II的整体可靠性水平都较高。因为配电网负

（下转第61页）

在上述公式中，$\alpha$和$\beta$分别表示为

$$\alpha = \tan\theta = \frac{Q_{DG}}{P_{DG}} \quad (47)$$

$$\beta = \cot\theta = \frac{P_{DG}}{Q_{DG}} \quad (48)$$

式（47）和（48）中，$\theta$是将接入的分布式电源的功率因数角。

（3）最优功率因数选择：

分布式电源的最佳功率因数被设定为与分布式电源所接入节点的下游总负荷的滞后功率因数。如果将分布式电源接入在图5所示节点$k$上时，此分布式电源的功率因数$\alpha_{DG}$大小计算表达式为

$$\alpha_{DG} = \frac{P_{LF,eff}}{\sqrt{P_{LF,eff}^2 + Q_{LF,eff}^2}} \quad (49)$$

## 案例分析

利用本文提出的分析方法通过线性潮流模型计算初始潮流，通过公式（38）对每个节点基于线路有功损耗进行灵敏度分析，获得每个节点的损耗灵敏度系数$\lambda_p$，通过获得的损耗灵敏度系数来决定候选分布式电源的优先接入位置，当然由灵敏度系数获得的优先接入位置并不一定是最优解，可通过选取灵敏度系数较高的几个接入位置进行寻优。

通过寻优求解，分布式电源接入的最优位置在节点6处。由前文对于分布式电源的最佳功率因数的论述可知，其值与节点6处下游负荷的功率因数大小相等，通过公式（49）计算得出其值为滞后的功率因数0.8906。本文研究的是有功功率损耗最小，假设分布式电源的渗透率范围为15%～60%，通过公式（44）到（48）计算出分布式电源的初始最佳容量，在渗透率范围内以初始最佳容量为基础逐步改变其大小获得最优解。

由案例测试得出，与穷举方法相比，获得的结果可认为一致，而本文所研究的分析方法只需较少的计算量就能寻求全局最优解或接近于全局最优解，适用于配电系统最优规划与运行研究中。

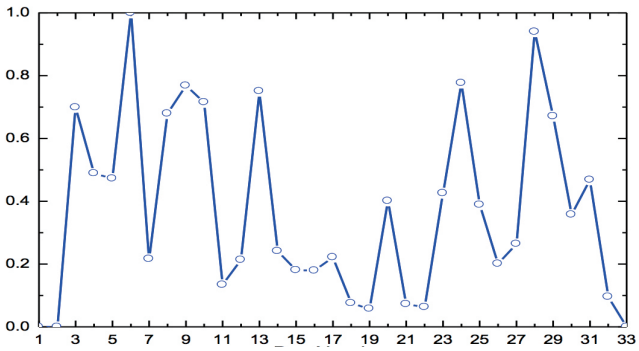

图6　IEEE33节点系统有功损耗灵敏度系数分布

表　IEEE33节点配电系统测试结果

| | 提出方法 | 穷举方法 |
|---|---|---|
| 最优位置 | 6 | 6 |
| 最佳容量/kV·A | 2 475 | 2 473 |
| 功率损耗/kW | 75.93 | 75.82 |
| 损耗降低率/% | 62.54 | 62.72 |
| 耗费时间/ms | 50.16 | 287.65 |

## 结束语

本文以配电网线损优化为目标，通过接入分布式电源来降低线损，由此引出分布式电源最优选址和定容问题。研究的线性潮流模型与线性规划结合的优化方法，考虑了多种实际约束条件，设置了减少寻优计算次数的初始最优解。本文研究的线性潮流模型，不需要进行迭代，即使在具有高R/X比的病态系统中，也不会遇到收敛性问题，这种方法适用于需要大量计算的最优分布式电源选址和定容问题的研究。EA

（上接第57页）

表2　微网可孤岛概率

| | 微网a（微网a'） | | 微网b（微网b'） | |
|---|---|---|---|---|
| | 负荷需求量/MW | 可孤岛概率（－） | 负荷需求量/MW | 可孤岛概率（－） |
| 方案I | 0.51 | 0.1385 | 0.54 | 2.2831e－004 |
| 方案II | 0.36 | 0.2429 | 0.69 | 2.2831e－004 |

表3　微电源及电源根节点实际出力

| | MS1 | | MS3 | | 主网电源根节点 | | 孤岛运行微网MS2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P | Q | P | Q | P | Q | P | Q |
| 方案I | 0.2 | 0.15 | 0.4 | 0.3 | 3.47 | 2.34 | 0.51 | 0.19 |
| 方案II | 0.2 | 0.15 | 0.4 | 0.3 | 3.63 | 2.43 | 0.36 | 0.12 |

表4　主网系统可靠性评估指标

| 主网可靠性指标S | AIFI /（次/a） | SAIDI /（h/a） | CAIDI /（h/a） | ASAI/% | EENS /（MW·h/a） |
|---|---|---|---|---|---|
| 方案I | 0.3632 | 1.8898 | 5.2029 | 99.978 | 7.1797 |
| 方案II | 0.3582 | 1.8443 | 5.1483 | 99.978 | 7.2209 |

荷转移后，网架结构较优；选择的线路普遍长度较短，故障率不高。

## 结束语

本文以风电为例，分析了新能源接入电网中需考虑其可靠性的实用性能分析，并对其进行相应的定量评估，同时还对新能源的引入可能造成的影响展开相应的探究，并构建出相应的评估体系，并通过算例分析对配置方案进行了比较评价，选出了较优的方案。EA

www.eage.com.cn