

# 城市电网风险指标的获取

赵书强, 李聪

(华北电力大学, 河北 保定 071000)

**摘要:** 根据元件和系统的停运模型, 通过蒙特卡洛抽样法得到系统各故障状态发生的概率。通过表格法或熵权法量化每种故障对城市电网的影响, 综合考虑系统故障发生的概率和影响求得风险值即风险指标, 并以图表的形式将风险指标和可靠性指标直观地表示出来。根据图示结果分析电网每一个节点的风险值以及风险的主要成因, 并且有针对性地提出改进建议。求取风险指标的过程中, 如果考虑的情况很多可以采用熵权法, 而针对一般的城市电网采用表格法。

**关键词:** 城市电网; 风险评估; 蒙特卡洛; 熵权法; 可靠性

## How to get the risk index of city grid

ZHAO Shu-qiang, LI Cong

(North China Electric Power University, Baoding 071000, China)

**Abstract:** According to outage model of components and systems, the Monte Carlo sampling method is used to get the probability of occurrence of system fault. The impact of all the fault of urban grid is quantified by form method or entropy method. The probability of system failure occurrence and impact are considered comprehensively to get the value of the risk. The form of risk indicators and the reliability indicators are showed intuitively by chart. According to the results of form, the risk value of each node and the main causes of risk are showed, and targeted recommendations for improvement are proposed. In the process of seeking risk indicators, if a lot of cases need to be considered entropy weight method can be used, otherwise form method is enough.

**Key words:** urban grid; risk assessment; Monte Carlo; entropy method; reliability

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)19-0114-04

## 0 引言

现代电网的特殊性, 使事故能够迅速波及整个网络, 并在相连的巨大电网间传递。1998年新西兰奥克兰市的商贸中心大停电, 导致了市中心30个区的长达两个月的大停电, 直接经济损失高达7亿美元; “9·28”意大利大停电, 使大城市顷刻间陷入彻底瘫痪, 经济损失难以计数。因此, 电力系统风险评估已成为了今天电力事业发展过程中必须考虑的一个重要课题了。风险是指潜在损失的变化范围与的变动幅度, 对于电网来说是故障概率和影响的综合, 它应能够辨识电网失效事件发生的可能性, 以及这些事件后果的严重程度, 以寻找一个合理且经济的措施来降低风险较大失效事件的发生<sup>[1-2]</sup>。城市电网经常是辐射网和环网并存, 而且电压等级多, 负荷种类繁多, 重要程度不同, 对电能质量的要求也不尽相同。区域特征明显, 例如高负荷区, 低负

荷区, 生活区, 工业区, 商业区等。网络各个部分的可靠程度也有差异。而且一次故障事件可能会影响到城市的经济、环境、社会、生产、生活、治安、市政管理、交通运输、电网的稳定等各个方面。总结以上暂时把电网故障对城市的影响定为经济损失, 环境破坏, 社会影响, 市政管理, 幸福指数五个方面。

城市电网是大电网和用户之间的接口, 它能否安全稳定运行直接关系到整个电力系统是否安全稳定以及效益的高低。因此对城市电网进行风险评估, 找到薄弱环节并给予增强稳固来提高电网的整体可靠性, 将风险尽最大可能降低具有重要现实意义<sup>[3-5]</sup>。

## 1 城市电网风险评估的具体过程

### 1.1 建立元件停运模型

城市电网风险评估首先要用 Monte Carlo 模拟

法建立一个元件停运的概率模型, 对每个元件的运行状态进行抽样<sup>[6-8]</sup>。

### 1.2 获取可靠性参数

所有元件的状态抽取完后, 判断系统的状态。只要有元件发生故障就要进行潮流计算, 分析一个或多个元件失效后的潮流分布和母线电压, 识别是否发生系统解列、线路过载、电压越限等问题<sup>[9-11]</sup>。

然后计算各故障状态下的相对期望缺供电量  $CCENS$ 。相对期望缺供电量, 即当电压、容量越限时, 对于可切负荷用户的期望缺供电量记为  $EENS$ , 以此为参照。对于不可切负荷用户的相对期望缺供电量记为  $3EENS$ ; 而当系统解列时对用户的相对期望缺供电量记为  $6EENS$ 。然后再求风险指标  $rv$ 。分析风险值较高的几个状态查找出引起此状态发生的故障元件, 并提出处理建议。具体过程见图 1。

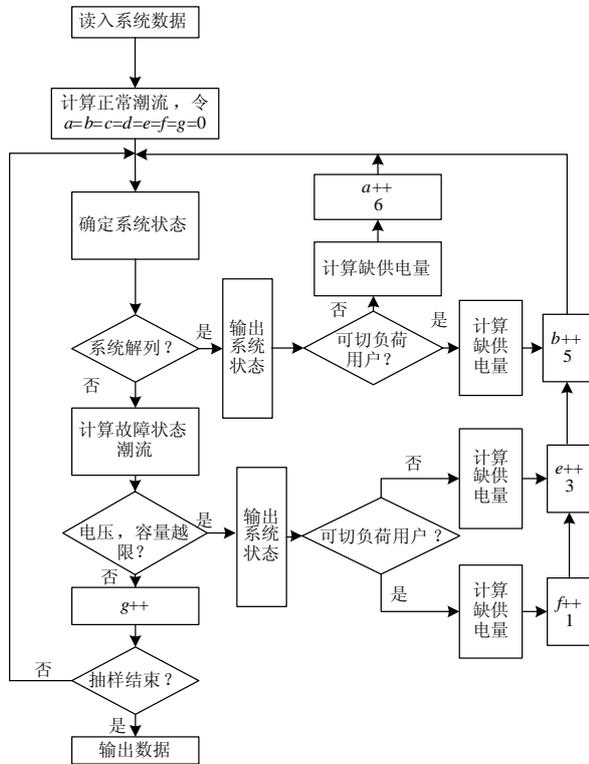


图 1 电网风险评估总流程

Fig.1 The total process of the risk assessment about power grid

### 1.3 获取风险指标

#### 1.3.1 表格法获取风险指标

决定风险值的因素: (1) 停电概率  $x$ ; (2) 缺供电量  $y$ (MW); (3) 故障恢复速度  $z$ (MW/h); (4) 对城市造成的影响。

把每次事故对城市造成的影响分为 A: 经济损失; B: 环境破坏; C: 社会影响; D: 市政管理; E: 幸福指数五个方面。然后用表格法分析相对缺供电量分别对这五个方面的影响, 得到一个影响分。

将这五个分标准化后相加得到由于故障引起的相对缺供电量, 对这五个方面的整体影响, 也就是此种故障对城市的影响。以此类推, 得到停电频率和故障恢复速度对城市的影响。最后用公式  $rv = \alpha x + \beta y / stl - z / \lambda$  求得风险指标。  $\alpha$  为停电频率对城市的影响系数,  $\beta$  为缺供电量对城市的影响系数,  $\lambda$  为故障恢复速度对城市的影响。

#### 1.3.2 熵权法获取风险指标

$x, y, z$  对城市的五种影响的程度不尽相同。因此用熵值法来度量信息量, 得到  $x, y, z$  对城市五方面综合影响的一个权重。

有 5 个评估指标, 3 个评价对象, 按照定性与定量相结合的原则取得多个对象关于多指标的评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \end{bmatrix}$$

对  $R$  做标准化处理得到:

$$R' = (r'_{ij})_{5 \times 3}$$

式中:  $r'_{ij}$  称为第  $j$  个评价对象在指标之上的值, 又  $r'_{ij} \in [0,1]$ , 且

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij} - \min_j [r_{ij}]}{\max_j [r_{ij}] - \min_j [r_{ij}]}$$

则评价指标的熵为, 在有 3 个评价指标, 5 个评价对象的评估问题中, 第  $i$  个评价指标的熵定义为:

$$S_i = -k \sum_{j=1}^3 y_{ij} \ln y_{ij}$$

$$y_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^3 r_{ij}}; \quad k = \frac{1}{\ln 3}$$

当  $y_{ij} = 0$  时,  $y_{ij} \ln y_{ij} = 0$ 。

在 (5, 3) 评价问题中, 第  $i$  个指标的熵权定义为:

$$\omega_i = \frac{1 - S_i}{5 - \sum_{i=1}^3 S_i}$$

(1) 各被评价对象在指标  $j$  上的值完全相同时, 熵值达到最大值 1, 此时熵权为零。这也就意味着该指标未向决策者提供任何有用的信息, 可以考虑取消该指标。

(2) 当各被评价对象在指标  $j$  上的值相差很大

时, 熵值较小、熵权较大时说明该指标向决策者提供了有用信息。还说明在该问题中, 各对象在该指标上有明显差异, 应该重点考察。

(3) 熵权大小与被评价对象有直接的关系。

而且满足  $0 \leq \omega_i \leq 1$  和  $\sum_{i=1}^5 \omega_i = 1$ 。当被评价对象确定以后, 还可根据熵权对评价指标进行调整, 以利于做出更为精确、可靠的评价。同时也可以利用熵权对某些指标评价值的精度进行调整, 必要时, 重新确定评价值和精度。

## 2 算例分析

本文以 IEEE30 节点电网为例验证所提出的风险算法。如图 2 所示。

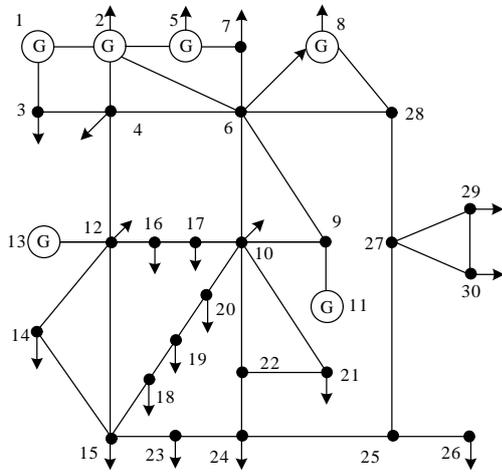


图 2 IEEE30 节点电网接线图

Fig.2 The power grid wiring chart about 30 node of IEEE

采用表格法具体做法如下: B 与 A 同级记为 BA; B 比 A 高 1 级记为 B2。以此类推。令各因素将所在行以及列的自己得分相加得到各因素的得分。例如 C, C 的列上 C 未出现, 而在行上有 CD 则 C 得 1 分, 有 C2 则 C 又得两分, 因此 C 的总分为  $0+1+2=3$ 。再以得分最高者的分数为标准, 记为参照分 10 分, 其他因素类比得到标准分。再依次评定  $x, y, z$  对各因素的影响, 得到斜线左方的分数, 令左方分数乘以标准得分, 得到各可靠性指标对影响城市的各个决定因素的影响的分值写入斜线右侧, 求和得到各可靠性指标对城市的影响。如表 1 所示。

风险值:  $rv = 55x + 43y/stl - z/37$ ;  $stl(MW)$  为系统总负荷量。

用熵权法得到针对此网络图每个节点的风险值:  $rv = 55x + 43y/stl - 1/37z$ ;  $stl(MW)$  为系统总负荷量。

表 1 各个因素分别对  $x, y, z$  的影响

Tab.1 The impact of all the elements to  $x, y$  and  $z$

					各因素得分	各因素标准得分	对 $x$ 的影响	对 $y$ 的影响	对 $z$ 的影响 $h/MW$
A	B2	A2	A2	A3	7	5	2 20	4 20	4 20
	B	B3	B4	B4	13	10	2 20	1 10	1 10
		C	CD	C2	3	2	3 6	4 8	2 4
	D						DE	3	2
			E	1	1	3 3			
						55	43	37	

两种方法得到的求取风险指标的系数一样。算例采用蒙特卡洛法对每个节点和线路分别多次抽样得到系统的各种状态, 对相对缺负荷量相近且出现次数比较多的故障状态采用直流潮流进行模拟计算, 以两万计算为例, 如图 3 所示, 风险值为负等同于 0 风险。26 节点风险最大, 其次是节点 5, 再次是节点 13。故障多发生在 5, 26 节点, 26 节点虽然重要程度不高, 但是发生故障的次数却非常多, 所以节点 26 的风险要比节点 5 大得多。13 节点的对负荷的损失没影响, 但是故障率较高, 影响电网的稳定运行。而 30 节点虽然重要程度很高, 但是故障率低, 风险不大。因此节点 26 急需改进, 节点 26 本身可靠性较低, 但是提高 26 节点的可靠性代

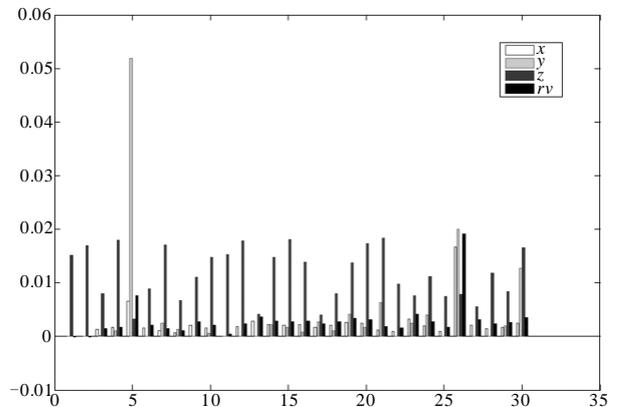


图 3 电网风险评估结果

Fig.3 The result of the risk assessment about power grid

价太高, 可以考虑增建线路。经济状况允许的话 5 节点也应该加以改进, 5 节点本身与周围线路的可靠性很高但是布局不合理。13, 30 节点可以暂时不用考虑对它改进。

### 3 结论

城市电网的风险评估是建立在一定的可信度基础上的概率性评估, 它能发现传统的可靠性分析理论不能发现的隐患。本文提出了相对缺供电量的概念以及风险指标算法使风险指标能更好地反应城市电网的风险状况。

### 参考文献

- [1] Amdahl T. 挪威风险评估的新准则[J]. 水利水电快报, 2001, 22 (21): 15-18.  
Amdahl T. New standard of risk assessment in Norway[J]. Express Water Resources and Hydropower, 2001, 22 (21): 15-18.
- [2] 许谨良. 风险管理[M]. 北京: 中国金融出版社, 2006.  
XU Jin-liang. Risk management[M]. Beijing: China Financial Publishing House, 2006.
- [3] 陈汉龙. 用模糊综合评价方法进行网络安全风险评估[J]. 现代商贸工业, 2007, 19 (2): 135-136.  
CHEN Han-long. The risk assessment of net by the method of fuzzy comprehensive assessment[J]. Modern Business Industry, 2007, 19 (2): 135-136.
- [4] 魏远航, 刘思革, 苏剑. 基于枚举抽样法的城市电网风险评估[J]. 电网技术, 2008, 32 (18): 62-66.  
WE Yuan-hang, LIU Si-ge, SU Jian. The risk assessment of urban power grid, based on sampling and enumeration[J]. Power System Technology, 2008, 32 (18): 62-66.
- [5] 李文沅. 电力系统风险评估: 模型、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.  
LI Wen-yuan. Risk assessment of power systems: models, methods and applications[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [6] 裴尔明, 刘保旭. 一种有效的风险评估模型、算法及流程[J]. 计算机工程, 2006, 23 (32): 15-17.  
FEI Er-ming, LIU Bao-xu. One kind of effective model, algorithm and process in risk assess[J]. Computer Engineering, 2006, 23 (32): 15-17.
- [7] Ni Ming, Mccalley James D, Vittal Vijay, et al. Online risk based security assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18 (1): 258-265.
- [8] 周家启, 赵霞. 电力系统风险评估方法和应用实例研究[J]. 中国电力, 2006, 39 (8): 77-81.  
ZHOU Jia-qi, ZHAO Xia. Research about the application and method with risk assess of power system[J]. Electric Power, 2006, 39 (8): 77-81.
- [9] IVEYM, AKHILA, ROBINSOND, et al. Grid of the future: white paper on accommodating uncertainty in planning and operations[R]. Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, 1999.
- [10] Wan H, Mccalley J D, Vittal V. Increasing thermal rating by risk analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14 (3): 815-828.
- [11] Caselitz P, Giebhardt J, Mevenkamp. Application of condition. monitoring system in wind energy converters[C]. //Proceedings of European Wind Energy Council. Dublin: 1997: 579-582.
- (上接第 95 页 continued from page 95)
- GAO Xiang, LIU Shao-jun. Condition maintenance and implementation of relay protection[J]. Relay, 2005, 33 (20): 23-26.
- [6] 刘玮, 曾耿晖. 智能操作回路设计综述[J]. 电力设备, 2005, 6 (2): 59-62.  
LIU Wei, ZENG Geng-hui. Design summary of intelligent operating circuit[J]. Electrical Equipment, 2005, 6 (2): 59-62.
- [7] 赵勇, 韩平, 王洪涛, 等. 利用 IEC61850 实现继电保护远程校验[J]. 电力系统自动化, 2010, 34 (3): 63-65.  
ZHAO Yong, HAN Ping, WANG Hong-tao, et al. Remote test of relay protection based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34 (3): 63-65.

收稿日期: 2009-10-21; 修回日期: 2009-12-15

作者简介:

赵书强 (1964-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为电力系统分析与控制、电力系统规划与可靠性;

李聪 (1986-), 男, 研究生, 主要研究方向为电力系统规划与可靠性. E-mail: gs000365@163.com

收稿日期: 2010-05-19; 修回日期: 2010-06-13

作者简介:

韩平 (1963-), 男, 硕士, 高级工程师, 副总工程师, 主要从事继电保护方面的研究工作;

赵勇 (1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事继电保护方面的研究; E-mail: zhaoyong01@v86.net

李晓朋 (1979-), 女, 工程师, 主要从事数字化变电站测试技术研究。