

充裕度计算在电网规划中应用的探讨

余 滨¹,毛玉宾¹,叶颖杰²,唐国庆³

(1.河南省电力勘测设计院,河南 郑州 450007;2.南通电力设计院,
江苏 南通 226000;3.东南大学 电气工程系,江苏 南京 210096)

摘要:充裕度是保障电力系统安全稳定运行、衡量电力系统可靠性的一个重要指标。介绍了评价电力系统充裕度的原则、应用现状及存在的问题。论述了定量衡量系统充裕度在电网规划中的意义。参照 IEEE 可靠性计算测试系统中的概率数据,建立了用蒙特卡罗算法计算 IEEE-30 节点可靠性的概率模型。探讨了充裕度概率计算的特点及概率指标在规划中的应用。运用充裕度计算对量化电网建设投资、提高电力系统的可靠性进行了一些尝试,提出了改进的方向。

关键词:电网规划;充裕度;蒙特卡罗方法

中图分类号: TM 744

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)06-0086-03

0 引言

一般而言电力系统的可靠性包括安全性(security)和充裕度(adequacy)两个方面。这两个方面分别从不同角度反映电力系统的可靠与否。安全性指标主要反映在短暂时段内发输电系统在动态条件下系统容量满足负荷需求的程度,主要包括静态安全分析和暂态安全分析。充裕度指标反映在研究时间段内发输电系统在静态条件下系统容量满足负荷电力和电量需求的程度^[1]。

电力系统充裕度是指发输电系统在发、输、变电设施额定容量和电压波动容许限度内,考虑元件的计划和非计划停运以及运行约束条件下连续地向用户提供电力和电能需求的能力^[2]。充裕度的评判标准一般有两种,一种是确定性规则,另外一种是采用概率指标衡量系统的可靠性。

在规划阶段,电力系统充裕度是电网方案设计的重要依据。目前,规划中衡量电力系统充裕度均采用确定性原则,定性地衡量系统的充裕度。

随着电力市场化改革的不断深入,电力系统的投资主体逐步多元化,而电网建设方案对各个不同利益主体的影响很大。在这种情况下,定性衡量电网充裕度的方法的局限性就逐步显现出来。如何将各个电网建设方案之间充裕度差别量化,成为一个很具现实意义的问题。

本文针对充裕度在电网规划中应用的现状及问题,对采用概率指标衡量系统的充裕度在电网规划中的应用做了一定尝试,对未来充裕度计算在电网规划中如何应用进行了探讨。

1 充裕度在电网规划中应用的现状及问题

在目前的电网规划中,采用确定性原则衡量系

统充裕度得到了广泛应用。

确定性规则是指发输电系统应该满足一定的定性的规则。如在电网规划中确定系统备用容量一般采用确定性原则,即备用容量须大于系统负荷的一定百分比,且不小于系统中最大的单机容量;对系统供电应尽量满足 $n-1$ 原则等^[3]。

采用确定性原则的优点是容易实施,适用性比较强,可以较好地满足工程要求,所以在电网规划设计中得以广泛的应用。

同时,确定性原则也有其自身的局限性。应用确定性原则对不同电网进行规划时对各个电网特点的针对性较弱,难以反映不同电网的具体情况;不能定量考虑电网的可靠性,容易造成备用浪费或不足;某些情况下还会出现其他一些不合理的结论。例如,系统中有一台容量极大的机组,在备用容量短缺的情况下,出于确定性准则的考虑,只能让其带动较低的负荷以降低备用需求量,然而大机组的发电成本一般比小机组要低得多,因此造成系统的发电成本上升,实际上如果其可靠性非常高(相对于系统要求的可靠性),就可以考虑不为其提供备用。

在传统的电力系统体制下,由于电力行业投资主体单一,电力系统运营的首要目的是保证系统安全稳定运行,系统的安全性是被放在第一位的。电力市场改革之后,电力系统中各个市场成员成为不同的利益主体,经济性被提到了和安全性同样重要的地位。而定性的充裕度分析并不能为系统的经济性分析提供数据支持。

而采用概率方法对系统充裕度进行评估能够定量地衡量电网建设方案对整个系统的可靠性改善程度,还能够定量地衡量某一建设项目对系统中各个节点可靠性提高的幅度,对电力建设的进一步市场化,更好地提高建设经济性起到一定促进作用。

2 充裕度概率计算介绍及特点

电力系统组成元件的工作是符合一定客观规律的,因而可以考虑采用概率的方式对电力系统进行建模,在此基础上研究电力系统的充裕度。

若采用概率的方法,同样以考虑备用需求的问题为例。

首先,基于以下的事实:实际参与上网运行的机组都存在着一一定的事故停机概率。由于负荷预测的精度问题,以及负荷自身存在着波动,使预测值不等于实际值,同样可以看作某一容量的负荷出现的概率问题。

基于这些事实,可以求得系统出现某一容量短缺所对应的概率,进而根据不同系统的可靠性要求确定所需要的备用容量,并进行优化使之达到最好的经济性。

与确定性方法相比,概率性方法能够精确地考虑机组和负荷的概率特性,求出的备用容量更加合理,既能满足各种可靠性要求,又能达到最优的经济性^[2]。其缺点是计算复杂,构建精确的电力系统概率模型困难,但是计算机技术的飞速发展使对复杂系统的概率可靠性计算成为可能,讨论如何将概率可靠性引入电力规划阶段也具有了一定现实意义。

在发输电复合系统的充裕性评估领域中出现过解析法及模拟算法两个主要流派。

解析法是在一定假设条件下,建立电力系统的数学模型,通过直接求解该模型而得到充裕度各项指标。这种方法概念清晰、易于理解。但是随着系统规模的扩大,进行数学建模的困难很大,计算时间随系统规模成平方数增长。而模拟法(以蒙特卡罗模拟法为代表)主要通过随机抽样获得系统各个元件状态,通过生产模拟,用统计的方法求得充裕度指标,计算量与系统规模关系不大。所以,针对发输电复合系统而言,由于相关因素太多不易建立统一的数学模型,系统的组成元件众多,计算复杂,所以,蒙特卡罗方法在国外已经被越来越多的电力公司采用来计算系统充裕度指标^[4,5]。

3 概率指标在规划中的应用

利用电力市场运营仿真系统,针对电力市场运营仿真系统所采用的 IEEE-30 节点系统,本文采用非时序蒙特卡罗模拟算法编制相应程序,计算了系统各个节点的可靠性,统计了系统内各个节点的电力不足概率 λ_{LOLP} 。在发现系统可靠性比较弱的点之后,对网络进行改进,重新计算其可靠性,对网络建设投资的经济性进行了量化。

IEEE-30 节点的网络状况如图 1 所示。

系统中有发电机组 6 台,分别连接在节点 1(80 MW),节点 2(80 MW),节点 5(50 MW),节点 8(55

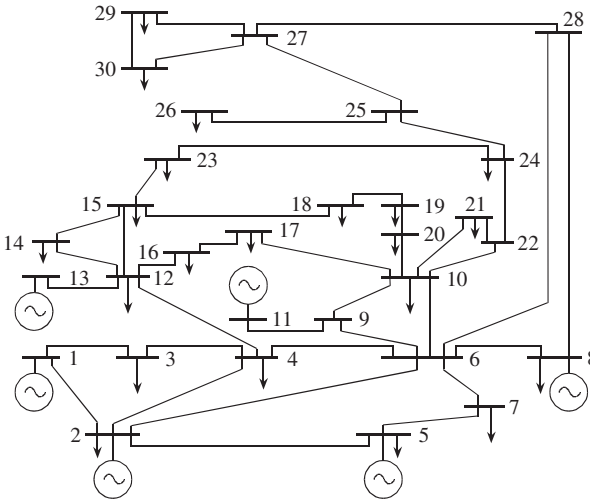


图 1 IEEE-30 节点接线图

Fig.1 The wiring of IEEE-30-bus system

MW),节点 11(30 MW),节点 13(40 MW)。总装机容量为 335 MW。系统中总节点数为 30 个,负荷节点为图 1 中有箭头连接的节点。系统中共有变压器和线路 41 个,在图 1 中均以线路标识。变压器参数中电阻的标么值为 0。

参照 IEEE 发布的供研究可靠性计算的测试系统 RBTS(Roy Billinton Test System)中概率数据^[6],下面是本文在采用蒙特卡罗算法计算 IEEE-30 节点可靠性时所使用的概率模型。

a. 发电机采用的概率模型:5 台发电机按照不同的容量采用不同的强迫停运率,80 MW 机组强迫停运率为 0.035,55 MW 机组的强迫停运率为 0.030,50 MW 机组的强迫停运率为 0.025,30 MW 机组的强迫停运率为 0.028,40 MW 机组的强迫停运率为 0.030。故障停运时间为 45 h,每年检修时间为两周。

b. 线路概率模型:故障概率 $\lambda_F=0.02$ 次/(a·km),故障停运时间 $t_{out}=10$ h。

c. 母线概率模型:故障概率 $\lambda_F=0.22$ 次/a,停运时间 $t_{out}=10$ h。

d. 变压器概率模型:故障概率 $\lambda_F=0.02$ 次/a,停运时间 $t_{out}=768$ h,检修停运频率: $f_M=0.2$ 次/a,检修时间 $t_M=72$ h。

e. 负荷模型采用一个 100 点的离散负荷概率表描述,最大负荷为 250 MW。负荷概率表如表 1 所示,系统负荷按照一定比例分配到各个负荷节点。

将收敛的置信区间设为 97%,经计算,各个节点的电力不足概率 λ_{LOLP} 如表 2 所示。

从上述结果可知,大多数节点的年停电时间期望值很小,说明系统整体可靠性较高。节点 26 由于线路 25-26 阻抗较大,且与系统其他部分没有形成环网,与其他节点相比可靠性较差。

考虑从节点 25-26 新建一回线路,线路参数同原线路。重新计算系统可靠性,节点 26 可靠性得到明显增强,其 λ_{LOLP} 值从 58.78 h/a 减少到 5.73 h/a。

表 1 负荷概率表
Tab.1 The table of load probability

负荷/p.u.	λ	负荷/p.u.	λ	负荷/p.u.	λ	负荷/p.u.	λ
1.000 0	0.000 0	0.833 0	0.071 8	0.666 1	0.361 6	0.499 1	0.741 0
0.993 3	0.000 2	0.826 4	0.082 3	0.659 4	0.376 9	0.492 4	0.760 3
0.986 6	0.000 3	0.819 7	0.090 6	0.652 7	0.393 4	0.485 7	0.781 0
0.980 0	0.000 4	0.813 0	0.100 4	0.646 0	0.409 4	0.479 1	0.799 2
0.973 3	0.000 6	0.806 3	0.112 2	0.639 4	0.426 0	0.482 4	0.815 8
0.966 6	0.000 8	0.799 6	0.125 4	0.632 7	0.442 0	0.465 7	0.830 2
0.959 9	0.001 0	0.796 0	0.135 3	0.626 0	0.459 1	0.459 0	0.847 3
0.953 2	0.001 5	0.786 3	0.145 2	0.619 3	0.477 1	0.452 3	0.859 9
0.946 6	0.002 4	0.779 6	0.157 4	0.612 6	0.493 2	0.445 7	0.875 8
0.939 9	0.003 4	0.772 9	0.170 4	0.606 0	0.508 9	0.439 0	0.888 0
0.933 2	0.004 0	0.766 2	0.182 3	0.599 3	0.524 2	0.432 3	0.902 9
0.926 5	0.005 8	0.759 6	0.191 8	0.592 6	0.539 0	0.425 6	0.915 9
0.919 9	0.007 6	0.752 9	0.200 5	0.585 9	0.550 1	0.419 0	0.929 3
0.913 2	0.008 1	0.746 2	0.211 4	0.579 2	0.562 5	0.412 3	0.942 0
0.906 5	0.010 0	0.739 5	0.223 2	0.572 6	0.574 2	0.405 6	0.954 9
0.899 8	0.013 7	0.732 9	0.233 9	0.565 9	0.586 9	0.398 9	0.934 7
0.893 1	0.016 0	0.726 2	0.243 6	0.559 2	0.559 2	0.392 2	0.972 1
0.886 5	0.018 9	0.719 5	0.256 1	0.552 5	0.613 4	0.385 6	0.978 3
0.879 8	0.023 9	0.712 8	0.267 0	0.545 9	0.626 5	0.378 9	0.982 7
0.873 1	0.029 0	0.706 1	0.277 3	0.569 2	0.641 5	0.372 2	0.986 7
0.866 4	0.033 3	0.699 5	0.290 9	0.532 5	0.654 4	0.365 5	0.990 5
0.859 7	0.040 1	0.698 2	0.303 0	0.525 9	0.670 6	0.358 8	0.994 9
0.853 1	0.046 4	0.686 1	0.316 3	0.519 1	0.688 1	0.352 2	0.997 7
0.846 4	0.051 7	0.679 4	0.330 0	0.512 5	0.704 3	0.345 5	0.999 1
0.839 7	0.061 4	0.672 7	0.344 8	0.505 8	0.721 8	0.338 8	1.000 0

注：表中 λ 为系统负荷大于与其对应的负荷的概率。

表 2 各个节点的 λ_{LOLP}
Tab.2 λ_{LOLP} of each bus

节点号	λ_{LOLP}	节点号	λ_{LOLP}	节点号	λ_{LOLP}
2	2.665 4	12	2.412 6	20	2.531 6
3	2.466 5	14	2.024 2	21	2.044 6
4	2.425 7	15	2.024 2	23	2.687 7
5	2.399 6	16	2.247 2	24	2.327 1
7	2.092 9	17	2.098 5	26	58.777 0
8	2.455 4	18	2.477 7	29	4.934 9
10	2.265 8	19	2.633 8	30	5.007 4

其余节点的 λ_{LOLP} 值变化不大。

此结果说明,新建节点 25-26 线路主要解决的是节点 26 供电可靠性的问题。而且结果在一定程度上定量的反映了该网络建设方案对系统可靠性改善程度,为规划人员进行决策提供了一种判断依据。

4 结论

在蒙特卡罗仿真中,系统中元件概率模型建立的准确与否是仿真结果精度的关键。如何建立合理、实用的系统元件概率模型,是一个积累过程,主要依赖于对长期历史数据的收集和整理,需要对系统中的长期运行数据进行大量的分析和挖掘,从而得到系统中各个元件的较为准确的概率模型。电力市场改革对电力系统的运行方式影响很大,对系统元件的概率模型的影响还需通过长期的分析得到。目前这方面的工作还有待进一步加强。

此外,蒙特卡罗模拟算法作为一种数学工具,有

其自身的计算特点,特别是在电力系统概率仿真方面,对于大型复合电力系统的特点,元件数多,结构复杂,状态空间极为庞大,计算时间较长。一般可以通过一些减小方差的技术有效减小样本方差、提高抽样效率,同时,由于计算机性能的不断提升及分布式计算等技术的发展也有助于加快其计算速度。

综上所述,虽然目前较为准确的计算系统概率性充裕度指标还有一定难度。但是,随着电力市场改革的进行,由于对系统的可靠性进行定量的计算有助于在节省系统建设费用与可靠性提高之间找到更和谐的平衡,其在电力系统规划中必然会起到重要作用,具有重要的研究价值。

参考文献:

[1] 程 林, 郭永基. 发输电系统充裕度和安全性算法研究 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(19): 23-26, 57.
CHENG Lin, GUO Yong-ji. New algorithm of adequacy and security evaluation for bulk power system [J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2001, 25(19): 23-26, 57.

[2] 宋云亭, 郭永基, 程 林. 大规模发输电系统充裕度评估的蒙特卡罗仿真 [J]. 电网技术, 2003, 27(8): 24-28.
SONG Yun-ting, GUO Yong-ji, CHENG Lin. Monte-Carlo simulation to adequacy evaluation for large-scale power generation and transmission system [J]. **Power System Technology**, 2003, 27(8): 24-28.

[3] 王锡凡. 电力系统规划基础 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.

(下转第 101 页 continued on page 101)

(上接第 88 页 continued from page 88)

[4] BILLINTON R,KURUGANTY P R S. Probabilistic assessment of transient stability in a practical multimachine system [J]. **IEEE Trans. on PAS**,1981,100 (7):3634-3641.

[5] ANDERSON P M,BOSE A. A probabilistic approach to power system stability analysis[J]. **IEEE Trans. on PAS**, 1983,102(8):2430-2437.

[6] BILLINTON R,KUMAR S,CHOWDHURY N,*et al.* A reliability test system for education purposes-basic data[J]. **IEEE Trans. on Power Systems**,1989,4(3):1238-1244.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:
余 滨(1980-),男,河南平顶山人,硕士,主要从事电网规划工作(E-mail:yb80218@sina.com)。

Application of adequacy calculation in grid planning

YU Bin¹,MAO Yu-bin¹,YE Ying-jie²,TANG Guo-qing³

- (1. Henan Electric Power Survey & Design Institute,Zhengzhou 450007,China;
2. Nantong Electric Power Design Institute,Nantong 226000,China;
3. Southeast University,Nanjing 210096,China)

Abstract: The adequacy ensures the security of power system and is an important index of power system reliability. The evaluation rules,application status and existing problems of power system adequacy are introduced. The significance of its quantitative evaluation in grid planning is explained. According to the probabilistic data of reliability calculation test system provided by IEEE,a probabilistic model is established to calculate the reliability of an IEEE-30-bus system using Monte Carlo method. The calculation features and the applications of probability index in planning are discussed. Tries are carried out to quantitize the grid investment with adequacy index and improve the power system reliability.

Key words: grid planning; adequacy; Monte Carlo method