

# 电网评价指标体系的初步框架

万卫<sup>1</sup>, 王淳<sup>2</sup>, 程虹<sup>1</sup>, 赵彦<sup>1</sup>

(1. 江西省电力科学研究院, 江西 南昌 330096; 2. 南昌大学信息工程学院, 江西 南昌 330031)

**摘要:** 由于输电网和配电网在电力系统中承担的任务不同, 因此对其性能的要求是有区别的。同时, 电网从时间的角度可划分为规划和运行二个阶段, 规划和运行阶段可以获得的用于分析计算的数据信息不同, 因而其评价指标或指标的计算方法也会存在差异。据此本文提出将电网评价指标按输电网和配电网分成两大类, 然后在两大类内部按规划和运行二个阶段作进一步划分, 构建了输电网规划评价指标体系、输电网后评估指标体系、配电网规划评价指标体系、配电网后评估指标体系等四个系列的电网评估指标体系框架, 并给出了各个体系的具体指标。

**关键词:** 电网评价; 指标体系; 输电网络; 配电网络

## Preliminary frame of index system for evaluating power network

WAN Wei<sup>1</sup>, WANG Chun<sup>2</sup>, CHENG Hong<sup>1</sup>, ZHAO Yan<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China;

2. School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** Transmission network and distribution network in the power system play different roles, so they should have different performance. Power networks can be divided into planning stage and operation stage in accordance with the time, and the information gotten in planning and operational stage is different, thus the evaluation indexes and/or evaluation method are different in the two stages. In this paper, power network evaluation indexes are divided into two major categories according to transmission network and distribution network, and in two major categories, the evaluation indexes are made further division according to the planning stage and operation stage, then a power network evaluation index system framework, which includes transmission network planning evaluation index system, transmission network after the evaluation index system, distribution network planning evaluation index system, and distribution network after the evaluation index system, is formed. And the indexes are given for the four evaluation index system.

**Key words:** network evaluation; index system; transmission network; distribution network

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)24-0014-05

## 0 引言

电力市场化的第一个阶段将电源和电网进行了分离。在电源侧引入了竞争机制, 达到了打破电力行业垄断的目的。但同时给电网的规划和运行带来了许多新问题, 出现了许多新的不确定因素。从技术的角度来说, 以厂网分开为主要内容的电力市场恶化了电网的运行条件, 使得电网运行方式多变, 潮流随意性大为增加。也就是说, 电力市场对电网提出了比以往更为苛刻的要求, 其中典型的是要求电网具有很好的鲁棒性, 以便能满足多种运行方式的需要。同时, 电网在电力市场环境中扮演着十分重要的角色, 因为它需要为实现公平竞争提供一个良好的平台。因此必须对新形式下的电网进行深入研究, 建立一套较为完整的电网评价指标及评价标

准, 以便对规划和运行的电网进行全面的评估, 找出其薄弱环节所在, 有针对性地进行改造和建设, 使得电网更好地满足电力市场环境下的运行需要, 同时也尽可能达到电网整体效益的最大化。

## 1 电网评价方法的研究现状

目前, 电网评价方面的资料主要散见于有关电力系统运行及电力系统规划的报告和论文中, 在这些文献中, 主要是就电网的某个或某几个方面进行评价。在常规的电网规划方法中, 通常对待选的方案就潮流分布、稳定水平、短路水平和经济比较等四个方面进行分析比较并进行评价, 但评价中主要采用一些定性的语言加以描述, 显得过于粗糙<sup>[1]</sup>。在一些有关电网优化规划方法的文献中, 通常采用的方式是: 在满足一定约束的前提下, 对各待选方

案就某个单一的经济指标或一个综合的经济指标进行评价<sup>[2,3]</sup>。经济指标的构成主要有以下几种方式:

(1) 新建线路投资之和; (2) 新建线路投资成本和系统发电成本之和; (3) 新建线路投资成本、系统发电成本和网络损耗成本之和; (4) 新建线路投资成本、系统发电成本、网络损耗成本和缺电成本之和。并且有些模型从不同的侧面对各种不确定因素进行了考虑, 以便方案对未来各种不确定场景具有更好的适应性<sup>[4-6]</sup>。这种处理方式的优点是可以对大量的方案进行评价, 但由于目标函数单一, 且约束条件有限(如一般都没有关于短路及暂态稳定方面的约束), 对方案的评价是不全面的。单纯就电网性能方面开展研究的文献比较多地集中在可靠性方面。如文献[7, 8]从可靠性的角度, 采用概率分析法, 对输电网的充分性和稳定性或其中一个方面展开了研究, 建立了较为完整的电网可靠性方面的评价指标体系及计算方法。此外, 文献[9]就城市电网最大供电能力的评价展开了研究。文献[10]提出了一个能比较全面反映电网性能的指标—系统余裕度(system margin)及其计算方法, 并指出要尽可能使得一个电网在多种运行方式下具有接近的余裕度, 以便电网具有更好的柔韧性来面对未来的多种不确定因素。为满足电力市场的需要, 相继出现了一些描述电力市场环境下电网性能的指标及计算方法, 如文献[11]提出了区域间电网的最大输电能力(TTC)、输电可靠性裕度(TRM)、可用输电能力(ATC), 并就区域间的最大输电能力的计算开展了研究。

采用多指标、全方位对电网进行综合评价方面的文献并不多见。文献[12]提出了利用反馈外延的模糊决策方法、基于联系度的集对分析评价法和基于关联函数的优度评价法, 综合考虑了投资费用、系统可靠性和对环境的影响等因素, 对电网的规划方案进行了评价。文献[13]中提出了采用线损率、电压合格率、主干线负载率、变压器负载率、主干线N-1校验不能够转带的负荷率等五个指标对现有城市中压配电网的性能进行描述, 并在这五个指标的基础上, 运用模糊逻辑推理方法对电网的供电能力进行了综合评判。文献[14, 15]从技术合理性、安全性等多个方面, 通过层次分析法建立了较为全面的、适合城市配电网特点的综合评价体系。文献[16]提出了以变电容量、座数和线路总长度、条数等为配电网建设规模定量评估的规模因子, 全社会用电量及其用电构成、最高负荷、人口、城镇化率、GDP及其构成、人均可支配收入等为配电网规模发展的影响因素, 运用灰色关联度分析和层次分

析法原理, 建立配电网建设规模评估指标体系及其综合模型。另外, 文献[17]提出了基于AHP的电网公司综合评价体系。

上述文献主要采用一个或多个指标就电网在规划阶段如何决策或现有电网存在的问题方面展开研究, 取得了一定的成果。但这些文献在指标选取上没有统一的标准, 其中有些指标意义不大或在实际电网中难以获得原始数据。为此, 在前人工作的基础上, 本文尝试构建一个较为完整的电网评价指标体系。

## 2 电网评价体系的基本框架

电网评价体系研究包括三个方面的内容。①电网评价指标的选取: 应选取一批有代表性的能较好刻画电网性能的、同时还要尽可能方便计算、统计和测量的指标。②建立各个指标的评价标准: 标准的制定既要有科学根据, 同时又要考虑到电网在各个不同阶段的实际情况, 使得制定出的标准能在实际工作中获得应用。③电网的综合评判决策方法: 在电网的规划和改造过程中, 我们经常面临着从几个可行的方案中选取一个最后实行的方案。由于电网的性能是由多个指标来描述的, 各个指标在几个待选方案中是互有长短的, 需要研究如何根据各个指标的量值来评估出一个方案的整体性能。作为第一步, 本文主要就电网评价指标的选取展开分析。

根据电网在系统中的作用不同, 通常将其划分成输电网和配电网两大类。另外, 从时间的角度可将电网划分为规划和运行二个阶段。对于输电网和配电网, 由于关注的侧重面不同, 对其要求是不一样的, 因而评价指标也会有所区别或完全不同。对于规划电网和运行电网, 由于能得到的可用于分析的数据信息不同, 因而其评价指标或指标的计算方法也应不同。为此本文提出将电网评价指标按输电网和配电网分成两大类, 然后在两大类内部按规划和运行二个阶段作进一步划分, 构建了输电网规划评价指标体系、输电网后评估指标体系、配电网规划评价指标体系、配电网后评估指标体系等四个系列的电网评价指标框架, 并给出了各个体系的具体指标。

## 3 输电网评价指标体系

### 3.1 输电网规划评价指标体系

在规划阶段进行输电网络评价是为了对待选方案进行技术经济比较, 以便选择一个合理的规划方案, 指标包括技术和经济两大类。

#### (1) 技术指标

在对待选方案进行典型运行方式的潮流、短路及稳定计算分析的基础上,采用以下指标对方案的技术性能作进一步的定量评判。

a) 潮流分布指标 PFDI (Power Flow Distribution Index): PFDI 指主要线路允许极限容量与线路潮流之差的和除以统计线路总回路数。

b) 短路水平指标 SCLI (Short Circuit Level Index): SCLI 指主要母线短路电流与该母线允许短路电流之差的和与统计母线总数之比。

c) 稳定水平指标 SLI (Stable Level Index): SLI 指电角度差大于某个角度 (比如  $30^\circ$ ) 的发电机节点对数与系统发电机总节点数之比。

d) 可靠性指标 RI (Reliability Index): RI 指所有负荷节点的可靠率与其对应的负荷平均值乘积之和除以全网总负荷的平均值。

e) 运行灵活性指标 OFI (Operational flexibility index): OFI 指 N-2 方式下不过负荷的运行方式与线路总回路数的比值。

f) 网络适应性指标 NAI (Network Adaptation Index): NAI 指在网络正常情况下,同比例增加各节点的负荷,直到有线路达到其极限容量为止,所增加的负荷大小代表了网络对负荷不确定特性的适应性。

## (2) 经济指标

a) 投资费用 IC (Investment Cost): IC 指方案总投资费用。

b) 运行费用 OC (Operating Cost): OC 指方案年运行费用。

## 3.2 输电网后评估指标体系

输电网后评估是指根据电网运行的历史数据,对输电网在实际运行中所表现出的性能作一个评判。指标的选取既要考虑到能刻画电网的性能,同时要兼顾数据来源的方便,拟采用以下指标:

(1) 断面输送电力的概率分布 PDPTAS (Probability Distribution of Power Transmitted by A Section): 输电网承担着将大批的电力从发电厂输送到负荷中心的任务。在传统的垂直一体化的运营模式下,除事故以外的电力系统扰动只来自负荷,也就是说,需要动态平衡的电力系统另一端发电侧是相对稳定的,输电网的压力相对较小。在电力市场环境,各发电厂分属于不同的利益团体,各自都以自己获取最大利润为追求目标,其出力受市场价格的影响,也就是说,在市场环境下,电力系统这个动态平衡系统的两侧都在随时变化,电网的潮流变化多端,甚至很多运行方式都是事先无法预计的。通过对运行数据的统计分析,得出输电网主要断面

的潮流分布状况是很有必要的。PDPTAS 指一个断面在统计时间内输送电力大小的概率分布。

(2) 线路最大、最小及平均负载率 (Line Maximum Load Rate, Line Minimum Load Rate, Line average Load Rate): 输电网络中的线路主要承担着电力输送的任务,如果多数运行方式下各线路都能按自己的能力 (输送容量) 大小来承担输送容量,说明电网结构合理,反之,则说明网络布局有值得考虑的地方。线路最大、最小负载率及平均负载率指输电网在统计时间内主要线路输送的最大功率、最小功率及平均功率。

(3) 变压器最大、最小及平均容载比 (Transformer Maximum Load Rate, Transformer Minimum Load Rate, Transformer average Load Rate): 如果运行过程中各变压器的容量与所供负荷之比都处在一个合理的范围内,说明变压器容量配置基本合理,反之,则说明变压器容量配置有值得考虑的地方。变压器的最大、最小及平均容载比指变压器容量与统计时间内变压器供电的最大功率、最小功率及平均功率之比。

## 4 配电网评价指标体系

### 4.1 配电网规划评价指标体系

配电网直接面向用户,其最直接的目标是最大限度地满足供电区域内用户的用电需求,其次,在电力市场环境下,另一个目标是追求供电企业自身效益的最大化。在规划阶段,建议采用以下指标。

#### (1) 技术指标

a) 平均供电可用率指标 ASAI (Average Service Availability Index): ASAI 指一年中用户经历的不停电小时总数与用户要求的总供电小时数之比。

b) 系统平均停电频率指标 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index): SAIFI 是指每个由系统供电的用户在每单位时间内的平均停电次数,采用一年中用户停电的累积次数除以系统供电的总用户数来估计。

c) 系统平均停电持续时间指标 SAIDI (System Average Interruption Duration Index): SAIDI 是指每个由系统供电的用户在一年中经受的平均停电持续时间,采用一年中用户经受的停电持续时间的总和除以该年中由系统供电的用户总数来估计。

d) 母线电压质量指标 BVQI (Bus Voltage Quality Index): BVQI 指所有母线电压偏移率之和除以母线总数。

#### (2) 经济指标

a) 投资费用 IC (Investment Cost): IC 指方案

总投资费用。

b) 运行费用 OC (Operating Cost): OC 指方案年运行费用。

#### 4.2 配电网后评估指标体系

配电网后评估是指根据电网运行的历史数据, 对配电网在实际运行中所表现出的性能作一个评判, 拟采用以下指标:

(1) 线损率 PLR (Power Loss Rate): PLR 指统计期间内供电区域总供电量与总售电量之差与总供电量之比。

(2) 电压合格率 VPR (Voltage Passing Rate): VPR 指统计期间内节点电压合格次数与统计总次数之比。

(3) 系统平均停电频率指标 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index): 后评估阶段的 SAIFI 可采用统计期间用户停电的累积次数除以系统供电的总用户数、再乘 365 天并除以统计天数而得。

(4) 用户平均停电持续时间指标 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), 后评估阶段的 CAIDI 可采用统计期间用户停电的持续时间的总和除以停电用户总户数、再乘 365 天并除以统计天数来估计。

(5) 主干线路最大、最小及平均负载率 (Main Feeder Maximum Load Rate, Main Feeder Minimum Load Rate, Main Feeder average Load Rate): 统计期间内各主干线路的最大、最小及平均供电负荷与线路安全载流容量之比。

(6) 变压器最大、最小及平均负载率 (Transformer Maximum Load Rate, Transformer Minimum Load Rate, Transformer average Load Rate): 统计期间内各配电变压器的最大、最小及平均供电负荷与变压器容量之比。

### 5 评价方法

每一个指标仅能反映电网某一方面的性能, 对几个不同的方案而言, 可能在不同的指标上互有优劣, 无法通过各个指标的相互比较给出一个整体评价。为此提出采用二步法对方案进行评价。第一步: 检验各个指标是否在允许的范围内, 对其中指标超过范围的方案予以舍弃; 保留下来的方案进入下一步。第二步: 采用层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process) 并结合模糊评价法对第一步保留的方案进行综合评判。层次分析法是 1977 年由 Satty 提出的一种通过建立清晰的层次结构来解决复杂问题的多目标决策法。通过两两比较, 用相对标度将

人的判断标量化, 并逐层建立判断矩阵, 然后求解判断矩阵的权重, 最后计算方案的综合权重。模糊综合评估法根据研究对象的特点构造隶属度函数, 将不同量纲的量均以无量纲的隶属度这一指标来评价, 以便降低人为主观因素的影响。

### 6 结论

由于输电网和配电网在电力系统中承担的任务不同, 因此对其性能的要求是有区别的。同时, 电网从时间的角度可划分为运行和规划二个阶段, 对于运行电网和规划电网, 由于能得到的可用于分析计算的数据信息不同, 因而其评价指标或指标的计算方法也会存在差异。据此本文提出将电网评价指标按输电网和配电网分成两大类, 然后在两大类内部按规划和运行二个阶段作进一步划分, 构建了输电网规划评价指标体系、输电网后评估指标体系、配电网规划评价指标体系、配电网后评估指标体系等四个系列的电网评估框架, 给出了各个体系的具体指标。

#### 参考文献

- [1] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.  
WANG Xi-fan. Power System Optimal Planning[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1990.
- [2] 牛辉, 程浩忠, 张焰, 等. 电网扩展规划的可靠性和经济性研究综述[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(1): 51-56.  
NIU Hui, CHENG Hao-zhong, ZHANG Yan, et al. Review of Reliability and Economy Problems in Transmission Expansion Planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(1): 51-56.
- [3] 于会萍, 刘继东, 程浩忠, 等. 电网规划方案的成本效益分析与评价研究[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 32-35.  
YU Hui-ping, LIU Ji-dong, CHENG Hao-zhong, et al. Cost-benefit Analysis and Evaluation of Power Network Planning[J]. Power System Technology, 2001, 25(7): 32-35.
- [4] 高赐威, 程浩忠, 王旭. 盲信息的模糊评价模型在电网规划中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 24-29.  
GAO Ci-wei, CHENG Hao-zhong, Wang Xu. The Application of Fuzzy Evaluation of Blind Information in Electric Network Planning[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 24-29
- [5] 张洪明, 樊亚亮. 输电系统灵活规划的模型及算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 23-26.

- ZHANG Hong-ming, FAN Ya-liang. A New Concept and Approach for Multi-scenario Network Expansion Planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(1): 23-26.
- [6] 张焰, 陈章潮, 谈伟. 不确定性的电网规划方法研究[J]. 电网技术, 1999, 23(3): 15-18, 22.  
ZHANG Yan, CHEN Zhang-chao, TAN Wei. An Approach for Transmission System Planning Incorporating Uncertainties[J]. Power System Technology, 1999, 23(3): 15-18, 22.
- [7] 丁明, 李生虎, 吴红斌. 电力系统概率充分性和概率稳定性的综合评估[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 20-25.  
DING Ming, LI Sheng-hu, WU Hong-bin. Integrated Evaluation of Power System Adequacy and Stability[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 20-25.
- [8] 蔡磊, 张焰. 考虑系统暂态稳定性的电网可靠性评估方法[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(9): 4-6.  
CAI Lei, ZHANG Yan. Power Network Reliability Evaluation Incorporating Transient Stability[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(9): 4-6
- [9] 邱丽萍, 范明天. 城市电网最大供电能力评价算法[J]. 电网技术, 2006, 30(9): 68-71.  
QIU Li-ping, FAN Ming-tian. A New Algorithm to Evaluate Maximum Power Supply Capability of Urban Distribution Network[J]. Power System Technology, 2006, 30(9): 68-71.
- [10] I. Kurihara, K. Takahashi, Member, B. Kermanshahi. A New Method of Evaluating System Margin Under Various System Constraints[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10(4): 1904-1911.
- [11] 李国庆, 董存. 电力市场下区域间输电能力的定义和计算[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 6-9.  
LI Guo-qing, DONG Cun. Determining Available Transfer Capability of a Large Interconnected Power System for Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(5): 6-9.
- [12] 谢敬东, 唐国庆. 基于反馈外延的电网规划模糊决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(6): 62-66.  
XIE Jing-dong TANG Guo-qing. The Decision Method of Power Network Planning Based on the Feedback Extension[J]. System Engineering Theory and Practice, 1999, 19(6): 62-66.
- [13] 葛少云, 董静媛, 王晓东, 等. 基于模糊推理的城市中压配电网供电能力评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(6): 14-17, 71.  
GE Shao-yun, DONG Jing-yuan, WANG Xiao-dong, et al. Evaluation of Power Supply Capability in MV Distribution Networks Based on Fuzzy Reasoning[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2004, 16(6): 14-17, 71.
- [14] 肖峻, 王成山, 周敏. 基于区间层次分析法的城市电网规划综合评判决策[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 50-57.  
XIAO Jun, WANG Cheng-shan, ZHOU Min. An IAHP-based MADM Method in Urban Power System Planning[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 50-57.
- [15] 肖峻, 高海霞, 葛少云, 等. 城市中压配电网评估方法与实例研究[J]. 电网技术, 2005, 29(20): 77-81.  
XIAO Jun, GAO Hai-xia, GE Shao-yun, et al. Evaluation Method and Case Study of Urban Medium Voltage Distribution Network[J]. Power System Technology, 2005, 29(20): 77-81.
- [16] 李欣然, 刘杨华, 朱湘有, 等. 高压配电网建设规模的评估指标体系及其应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(17): 18-24.  
LI Xin-ran, LIU Yang-hua, ZHU Xiang-you, et al. Indices System and Its Application for Evaluating Planning Scale of HV Distribution Network[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(17): 18-24.
- [17] 周任军, 万天林, 杨宇, 等. 基于 AHP 的电网公司综合评价体系的研究[J]. 中国电力, 2002, 35(9): 39-43.  
ZHOU Ren-jun, WAN Tian-lin, YANG Yu, et al. Evaluation System for Assessment of Integrated Strength in Grid Company Based on AHP[J]. Electric Power, 2002, 35(9): 39-43.

收稿日期: 2008-07-29; 修回日期: 2008-08-27

作者简介:

万卫(1966-), 男, 高级工程师, 从事电网规划设计工作;

王淳(1963-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为优化理论在电力系统中的应用, 电力系统规划。E-mail: cwang\_ncu\_cn@163.com