

# 电网规划的多层面协调性的综合评估方法研究

徐 敏<sup>1</sup>, 沈靖蕾<sup>1</sup>, 闫震山<sup>2</sup>

(1. 南昌大学 自动化系, 江西 南昌 330031; 2. 国网河南清丰县电业局, 河南 清丰 457300)

**摘 要:** 运用熵权法和 TOPSIS 法对电力系统规划中发电侧、输电侧、配电侧多层面的协调性评价问题进行了研究和分析,建立了相应的评价模型,对算例的规划方案协调性进行评价,验证该评价模型的可行性和可靠性.通过对算例的评价结果分析可知,该规划方案如果在电网结构和新能源投资和合理利用方面,以及在规划拓扑结构上进行改善,协调性将会得到一定的改善.

**关键词:** 规划;协调性;熵权法;TOPSIS;电力系统

**中图分类号:** TM76 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.201410032

## 0 引言

自 2002 年以来,电力行业为了破除电力体制下的政企不分、厂网不分,在党中央、国务院的领导下进行了一系列的电力体制改革.实行深化改革,既能完善厂网分开,又能保证厂、网、用户三方的协调.因此,笔者就协调性的评价做出了一些研究.

在对协调性进行综合评价之前,首先要构建合适的评价指标体系;之后需解决各指标的赋权问题;最后选择合适的评价算法做出评价.而关于评价指标权重的计算方法有很多种,主要可分为:主观赋权法,包括层次分析法、专家咨询法等;客观赋权法,包括主成分分析法.现有的综合评价算法包括层次分析法<sup>[1]</sup>、模糊评价法<sup>[2]</sup>,这两种方法现已大量的应用于电网规划方案当中,例如,文献[3]在电网规划的近期建设工程项目决策中应用了模糊多目标综合评判决策理论;文献[4]在层次分析法与线性规划(linear programming, LP)的基础上提出了工程项目规划评价分析方法;文献[5]结合层次分析法和区间线性递增效用函数提出了多属性分析评价方法;文献[6]根据层次分析法确定多目标规划方案决策中各目标函数的权重,在电网的无功规划中使用了此方法.

笔者通过对大量文献的阅读和研究,发现现

有评价体系和方法的主要问题在于:①没有体现全面贯彻落实科学发展观的中国科学技术发展的评价体系;②在指标的赋权过程中受人为因素影响较大,缺乏客观的赋权方法;③评价算法不够简单明了.

为了解决上述问题,笔者提出了基于熵权法和 TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)法相结合的评价方法.用此方法对电力系统规划中发电侧、输电侧、配电侧多层面协调性进行综合评估.用熵权法客观赋权以及把经济学常用的 TOPSIS 综合评价法运用在电力系统评价中,评价更加简单方便.

## 1 评价原理

### 1.1 评价指标的选取

影响电网发展协调性的因素分为两类:一类是作为评估指标的影响因素;另一类是部分评估指标的判定依据.结合电网发展特点,进行影响因素分析,找出技术类指标、特性类指标和效应类指标的内在耦合关系,形成指标体系<sup>[7]</sup>.笔者基于可靠性、安全性、经济性等各方面的考虑,分为定性指标和定量指标.定量指标的选取如下:

- 1) 可靠性指标的选取. ①发电容量充裕度; ②输变电容量利用率.
- 2) 安全性指标的选取. ①负载均衡度; ②系

收稿日期:2014-09-27;修订日期:2014-11-14

基金项目:江西省科技计划重点项目(2012BBE50049)

作者简介:徐敏(1963—),女,浙江绍兴人,南昌大学副教授,博士,研究方向为电力系统运行与控制,E-mail:xumin-8660@163.com.

引用本文:徐敏,沈靖蕾,闫震山.电网规划的多层面协调性的综合评估方法研究[J].郑州大学学报(工学版),2016,37(1):24-28.

统均衡度.

3)经济性指标的选取. ①供需均衡指数;②发电侧市场力水平;③可再生能源发电比.

在考虑可靠性、安全性及经济性的同时,结合电网发展水平,笔者拟将电源结构、电网结构及电价水平选取为定性指标.

为了全面贯彻落实以科学发展观为指导的中国科学技术发展的评价体系,笔者不仅对发、输、配三侧的指标进行了分析,还对指标就可靠性、安全性、经济性的关联度进行检验. 基于这些指标建立的评估指标体系结构如图 1 所示.

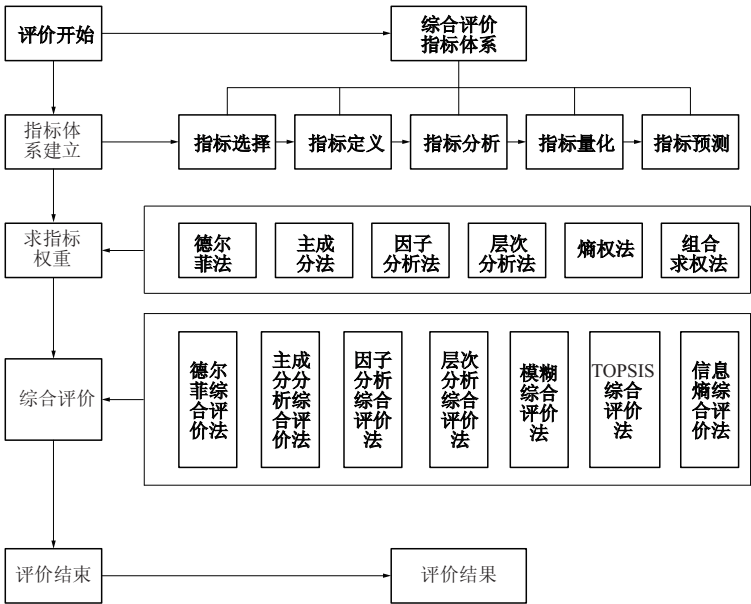


图 1 指标评价体系

Fig. 1 Evaluation index system

1.2 评价原理

由于目前没有对电力系统规划协调性的大部分指标具有一个标准的或系统的规定,所评价结果的合理性或成功程度就是一个相对模糊的概念,所以笔者采用 TOPSIS 法对评价体系作进一步研究,意在区分协调性的优劣,而不在于将规划评价进行精确的等级划分.

1)模型的建立. 设有  $n$  个评价对象,  $m$  个评价指标,形成原始数据矩阵:

$$\mathbf{X} = \begin{matrix} \text{指标 } I_1 \\ \text{指标 } I_2 \\ \text{指标 } I_3 \\ \text{指标 } I_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix},$$
$$(i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n).$$

(1)

求出指标集  $\mathbf{X}$  的权重  $w_i$ , 则最后的评价结果采用逼近理想解法求出逼近系数, 逼近值越大评价结果越优.

2)算法介绍. TOPSIS 法意为逼近于理想解的方法<sup>[8-9]</sup>. 其核心思想是定义决策问题的理想解与负理想解, 然后比较评价方案与理想解和负理

想解的距离远近, 最后计算各个方案与理想解的相对贴近度, 进行方案的优劣排序, 排前者优于排后者. 理想解一般设想是最好的方案, 所对应的各个属性至少达到各个方案中的最好值. 负理想解是设想最坏的方案, 对应的属性至少不好于各个方案中的最差值<sup>[8]</sup>.

由于 TOPSIS 法也是客观评价法, 笔者拟将熵权赋权与多目标决策 TOPSIS 法相结合, 用以评价电力系统发、输、配多层面的协调性, 这在很大程度上避免了评价的主观性.

2 评价过程

笔者结合熵权法和 TOPSIS 法对规划方案的发、输、配多层面协调性进行评价, 并编程实现, 其程序流程如图 2 所示.

各框说明如下:

1)指标量化. 评价指标分为定性指标和定量指标. 笔者选择以下几个定性指标及定量指标.

定量指标选择的有: 容量裕度、备用裕度、输变电容量利用率、负载均衡度、供需均衡指数、发

电侧市场力水平和可再生能源发电比.

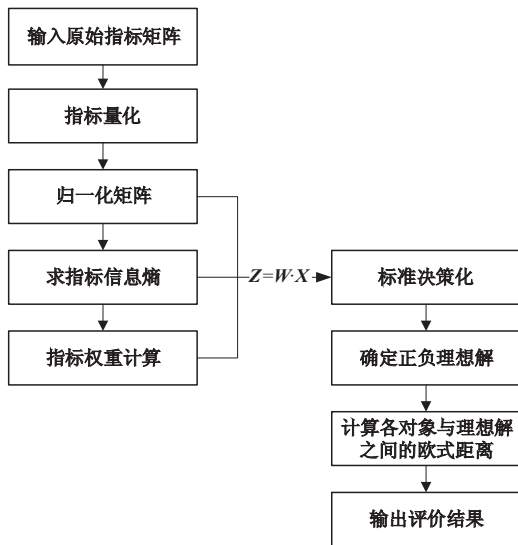


图 2 程序流程图

Fig. 2 The flow chart of program

定性指标笔者选择的有:电源结构、电网结构和电价水平.

2) 熵权的确定. 原始数据矩阵标准化: 由于参考评价的各项指标有越大越优型和越小越优型, 故需对矩阵(2)中的特征值进行归一化处理.

$$\begin{aligned} X'_{ij} &= X_{ij} / \max X_{ij}; \\ X'_{ij} &= \min X_{ij} / X_{ij}. \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $X'_{ij}$  表示归一化数据, 上式分别为越大越优型和越小越优型指标归一化公式.

据此可得到归一化矩阵  $X'$ :

$$X' = \begin{bmatrix} X'_{11} & X'_{12} & \cdots & X'_{1n} \\ X'_{21} & X'_{22} & \cdots & X'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X'_{m1} & X'_{m2} & \cdots & X'_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

指标信息熵为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, (i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, n) \quad (4)$$

式中:  $p_{ij} = X'_{ij} / \sum_{j=1}^n X'_{ij}$ , 当  $p_{ij} = 0$  时,  $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ ;

$$k = 1 / \ln n.$$

指标权重:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}, 0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1. \quad (5)$$

根据信息论中熵值与熵权的定义及计算得出以下结论: 某项指标值的变动越明显, 其相应的熵值就越小, 则其熵权越大, 说明该指标隐含的信息

量越丰富; 反之, 若某指标提供的信息量有限, 其相应的权重就越小<sup>[10]</sup>. 即熵权可以视为一个用于体现信息量的指标, 其包含的有价值的信息量与其数值正相关. 笔者利用熵权的概念计算各项影响指标的权重, 可以很大程度上避免主观判断的失误, 一切从客观实际出发, 最大程度反映各备选方案的实际情况, 为多指标方案评价及优选提供坚实的事实依据.

3) TOPSIS 综合评价法. ① 构造加权标准化矩阵

$$Z = (z_{ij})_m \times n, \text{ 其中, } z_{ij} = w_i x_{ij}, i \in m, j \in n.$$

② 定理想解  $x^*$  和负理想解  $x^-$ , 定义两个方案(理想方案和负理想方案):

$$x_i^* = \max_j z_{ij} (i \in U_1); x_i^* = \min_j z_{ij} (i \in U_2). \quad (6)$$

$$x_i^- = \min_j z_{ij} (i \in U_1); x_i^- = \max_j z_{ij} (i \in U_2). \quad (7)$$

式中:  $U_1$  属于最理想型;  $U_2$  属于最负理想型

③ 计算各方案分别与理想解和负理想解的欧氏距离  $S_j^*, S_j^-$ :

$$S_j^* = \|z_j - x^*\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - x_i^*)^2}. \quad (8)$$

$$S_j^- = \|z_j - x^-\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - x_i^-)^2}. \quad (9)$$

式中:  $z_j = (z_{1j}, z_{2j}, \cdots, z_{mj})$ , 是与指标  $x_i$  相应的加权标准化决策矩阵  $Z = (z_{ij})_m \times n$  的第  $j$  列.

④ 计算各方案与理想解的相对贴近度  $C_j = S_j^- / (S_j^* + S_j^-)$ , 若  $x_j = x^*$ , 则  $C_j = 1$ ; 若  $x_j = x^-$ , 则  $C_j = 0$ . 当  $C_j \rightarrow 1$  时, 该指标越趋近于理想解.

### 3 算例分析

以江西某地区电网 2011—2013 期间规划和实际运行数据为基础进行统计分析、权重制定, 并通过笔者提出的协调性评价体系模型对该地区的电网规划的多层面协调性情况进行评价, 且定量分析协调性评价各因素的影响程度.

该地区 2011—2013 期间电网协调性评价指标相关数据如表 1 所示. 由熵权法求得权重如表 2 所示. 从权重计算结果显示可知: 电网结构中电源分布系数和系统供需均衡指数在评价结果中所占权重较大, 这说明其对电网规划的多层面的协调性的影响较大, 造成这种情况的原因可能是电源侧的投入较大. 而其他指标影响相对较小, 造成这种情况的原因可能是输电侧和配电侧的投入较小, 变化较少.

表 1 2011—2013 江西某地区规划指标数据  
Tab.1 Planning index data of Jiangxi area in 2011—2013

年份	容量 裕度/%	备用 裕度/%	220 kV 出 线负载	110 kV 出 线负载	220 kV 站 间负载 均衡度	110 kV 站 间负载 均衡度	35 kV 站 间负载 均衡度	220 kV 站 内负载 均衡度
2011	36.33	57.06	55.71	62.55	13.73	12.34	28.97	0.13
2012	32.14	47.36	54.61	60.15	13.42	11.5	27.56	0.12
2013	36.94	47.36	52.13	61.34	12.98	11.8	27.89	0.10
年份	110 kV 站 内负载 均衡度	35 kV 站 内负载 均衡度	电源分 布系数	供需均 衡指数	可再生 能源发 电比/%	发电侧 市场 水平	输电容 量综合 利用率/%	变电容 量综合 利用率/%
2011	0.25	0.22	488	1.257	40.20	10 000	24.51	46.22
2012	0.2	0.31	632	1.179	44.29	9 000	25.20	46.97
2013	0.17	0.25	632	1.508	44.81	10 000	19.45	45.76

表 2 指标权重计算结果  
Tab.2 Calculation results of indexes weight

指标	容量 裕度	备用 裕度	输电容 量综合 利用率	变电容 量综合 利用率	220 kV 出 线负载	110 kV 出 线负载	220 kV 站 间负载 均衡度	110 kV 站 间负载 均衡度
权重	0.027 0	0.069 0	0.059 0	0.058 0	0.006 4	0.002 0	0.004 4	0.006 9
指标	35 kV 站 间负载 均衡度	220 kV 站 内负载 均衡度	110 kV 站 内负载 均衡度	35 kV 站 内负载 均衡度	电源分 布系数	供需均 衡指数	可再生 能源发 电比	发电侧 市场 水平
权重	0.003 6	0.101 0	0.105 0	0.097 0	0.230 0	0.155 0	0.040 0	0.040 0

基于 TOPSIS 法评价得分如表 3 所示。

表 3 评价结果  
Tab.3 The evaluation results

年份	评分
2011	0.62
2012	0.55
2013	0.43

由评价结果可知,2011—2013 年规划评分分别为 0.62、0.55、0.43,该系统协调性处于一般水平。结合权重结果分析,由于电源侧的投入较大,输配电侧的投入相对较小,系统供需不平衡,即供大于求,从而导致系统在发、输、配三方的不协调。若是在接下来的规划中,协调好系统的供需投入,以及改善规划的拓扑结构,电网的多层面协调性将会得到显著改善。

4 结论

笔者首先对电网多层面协调性的评价方法进行具体探讨,确立指标评价体系,然后结合熵权法确定其权重,运用 TOPSIS 综合评价法进行评价方法的研究,最后通过具体算例验证本评估算法的合理性和实用性。除此之外,通过该评价方法对规

划方案进行的定量化分析,不仅对于电网规划的多层面协调性评价有一定的应用价值,而且为未来电网规划提供了一定的指导作用。

参考文献:

[1] 李春祥,牛东晓,孟丽敏.基于层次分析法和径向基函数神经网络的中长期负荷预测综合模型[J].电网技术,2009,33(2):4-6.

[2] 曹炳元.应用模糊数学与系统[M].北京:科学出版社,2005:66-72.

[3] 张文亮,周孝信,印永华,等.华北-华中-华东特高压同步电网构建和安全性分析[J].中国电机工程学报,2010,30(16):1-5

[4] CARRERAS B A, NEWMAN D E, DOBSON I, et al. "Evidence for Self Organized Criticality in Electric Power System Blackouts"[C]//Hawaii international conference on system sciences. Maui Hawaii: IEEE Press, 2001.

[5] 杨高峰,康重庆,谷兴凯,等.电力市场中基于情景分析的电网规划方案适应性评价[J].电网技术,2006,30(14):64-70.

[6] 李晨光,郭剑波,张东霞.国外电网规划可靠性准则综述[J].中国电力,2000,33(10):28-30.

[7] 刘敦楠,陈雪青,何光宇,等.电力市场评价指标体系的原理和构建方法[J].电力系统自动化,2005,

29(23): 2 – 7.

[ 8 ] 梁昌勇,戚筱雯,丁勇,等. 一种基于 TOPSIS 的混合型多属性群决策方法 [ J ]. 中国管理科学,2012,20( 4 ):109 – 116.

[ 9 ] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进 [ J ]. 数学的实践认识,2002,32( 4 ): 572 – 575.

[ 10 ] 尹鹏,杨仁树,丁日佳,等. 基于熵权法的房地产项目建筑质量评价 [ J ]. 技术经济与管理研究,2013( 3 ):3 – 7.

The Analysis of Comprehensive Assessment Method on Multi-section Coordination of Power Network Planning

XU Min<sup>1</sup>, SHEN Jinglei<sup>1</sup>, YAN Zhenshan<sup>2</sup>

( 1. School of Electric Power System and Its Automation, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. State Grid Cooperation of China in Qingfeng, qinfeng 457300, China )

**Abstract:** In this paper, Entropy Weights Method and TOPSIS method are used to study and analyze the evaluation of multi-section coordination level of the generation side, the transmission side, the distribution side in power system planning. We establish the corresponding evaluation model and evaluate the coordination level of planning examples to verify the feasibility and reliability of the evaluation model. We can learn from the analysis of the evaluation result that the plan need improve the grid structures, new energy investments and reasonable utilization, as well as topological structure. Then coordination will be improved to some extent.

**Key words:** planning; coordination; entropy method; TOPSIS; power system

( 上接第 18 页 )

[ 11 ] SAAD S,ZELLOUMA L. Fuzzy controller for three – level shunt active filter compensating harmonics and reactive power [ J ]. Electric power systems research, 2009,79( 13 ):1337 – 1341.

[ 12 ] 杨龙月,刘建华,王崇林. 有源电力滤波器精确反馈线性化准滑模变结构控制 [ J ]. 中国电机工程学报, 2014,34( 33 ):5868 – 5875.

Current Tracking Control of Three-level Active Power Filter Using Non-singular Terminal Sliding Mode Control Method

WANG Jie, HE Xiangdong, PENG Jinzhu

( School of Electrical Engineering,Zhengzhou University,Zhengzhou 450001,China)

**Abstract:** To improve the performance of fast convergence and accuracy, a non-singular terminal sliding mode control method is presented for the three-level active power filter to track the command current. Non-singular terminal sliding mode control laws are designed to track the command currents of  $d$ 、 $q$  axis so that the compensation currents can reach the command current in a finite time. The stability of the closed-loop system is also proven. The simulation results show that the harmonic current can be effectively suppressed by the proposed control strategy, and a better harmonic suppression performance can be achieved in comparison with the traditional triangular wave comparison control and common sliding mode control.

**Key words:** three-level active power filter; non-singular terminal sliding mode; current tracking; command current; compensation current