

文章编号:1672-058X(2012)10-0086-06

# 电网规划方案组合评价模型构建与应用\*

高来鑫, 田 丽, 李玲纯, 王 静

(安徽工程大学 电气工程学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘 要:**针对电网规划的特点,需要兼顾综合考虑电网规划方案的财务效益、技术经济、可靠性以及对环境的影响等,分别采用层次分析评价、熵值评价法等主、客观单一评价模型构建出基于信息熵原理的组合评价模型,对单模型评价结果进行综合,确保评价出最优的控制方案;实证研究表明:现实组合评价模型可有效地获取各单一评价模型的优点,提高电网规划方案优选的实用性,为电网规划方案的优选评价问题提供了一条新的研究思路。

**关键词:** 电网规划;组合评价;层次分析法;熵值法;权重

**中图分类号:** TM711

**文献标志码:** A

电力是国民经济发展的命脉,随着经济的发展和人民生活水平的提高,电力的需求量不断提高,大力发展电力规划项目也势在必行<sup>[1]</sup>。要使得电网建设能够满足自身发展的需要,电网规划项目综合评价已成为一项重要工作。电网规划项目不仅关系到的经济发展,社会进步,与居民的生活也有切实的关系,必须要做出合理的规划<sup>[2]</sup>。找出具有广泛适用性的评价模型和评价方法,为了能在经济、技术和日常生活中更好地做出选择,则需要对各个备选方案进行合理有效地评价<sup>[3]</sup>。

电网规划方案评价研究的焦点,是如何合理地将多个评价指标问题转换成单个综合评价指标的形式。因此评价结果的可靠性和准确性主要依赖于合理地确定各因素的权重分配,以及评价模型的选择等。但在实际工作中,由于问题层次结构的复杂性、多因素性、不确定性、信息的不充分性以及人类思维的模糊性等矛盾的涌现,使得人们很难客观地做出评价和决策<sup>[3]</sup>。目前国内外建立的综合评价方法有很多,从确定权重的角度,这些方法可大体上分为两类:一是主观赋权法,多是专家咨询打分的方法来确定权重,例如层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)<sup>[4]</sup>是目前一种被广泛应用的主观赋权的方法,AHP的关键环节就是建立判断矩阵,它的判断矩阵一般是由专家给出;二是客观赋权法,它是根据各指标之间的相关关系或各项指标值的差异程度来确定权重,如熵值法(Entropy Method),方法根据各项指标观测值所提供的信息量的大小来确定指标权重,进而依据各评价指标的权重值进行综合评价<sup>[7]</sup>。然而由于受到人为因素的影响,主观法往往会夸大和降低某些指标的作用,导致评价结果不能完全真实的反映事物间的现实关系;客观法避免了人为因素的影响,但从评价本身的意义上来讲,客观赋权法并不必然体现指标在系统评价中的实际地位<sup>[7]</sup>。

综合上述分析看,有必要确定一种既能利用主观信息,又能利用客观信息的组合方法,现从这样的角度展开研究,即采用实测的样本数据经过熵值法形成客观权重,根据决策者主观判断形成一致化矩阵计算得到主观

收稿日期:2012-03-12;修回日期:2012-04-09.

\* 基金项目:国家自然科学基金项目资助(71171002);安徽省自然科学基金项目资助(11040606M24).

作者简介:高来鑫(1986-),男,安徽淮北人,硕士,从事系统建模与仿真研究.

权重,然后将主、客观权重组合得到用于电网评价方案的组合评价模型。

## 1 模型与方法

### 1.1 层次分析主观赋权法

层次分析法是把定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法,通过分析复杂问题所包含的元素及其相互关系,将问题分解为不同的元素,建立系统的递阶层次结构;再请专家对每一层次各元素进行客观判断后,对同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵;由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权重;计算出每一层全部元素对系统目标的合成权重,加以排序;最后根据排序结果进行规划决策并选择解决问题的措施<sup>[8]</sup>。突出特点是可以将复杂的问题分解成若干个层次,在比原问题简单得多的层次上逐步分解分析,并可将人的主观判断和定性分析用数量分析表达、转换和处理。

### 1.2 熵值客观赋权法

熵值法(Entropy Method)是一种根据各项指标观测值所提供的信息量的大小来确定指标权重的方法。熵(Entropy)原是热力学中的一个名词,在信息论中又称为平均信息量,是用于估计各种随机试验不确定程度的指标。一个系统有序程度越高,则熵就越小,所含的信息量就越大;反之,无序程度越高,则熵就越大,信息量就越小。信息和熵是互补的,信息就是负熵。信息熵表示系统无序程度,表示系统获得信息后,无序状态的减少或消除,即消除不确定性的程度。

熵值法结果比较客观,但却不能反映专家的知识经验和决策者的意见。综合分析两种方法的优缺点,现把 AHP 法和熵值法的结果相结合,计算综合考虑主、客观因素的指标权重,即得到组合评价模型。

### 1.3 组合评价模型构建

组合评价模型是对熵值法和层次分析法评价结果的综合考虑,具体步骤见图 1。首先根据实测评价向量矩阵,依据熵值赋权方法求得熵值法权重;然后决策人员判断指标重要性形成一致判断矩阵,根据层次分析法得到决策人员判断权重;然后将熵值法客观权重和决策人员主观判断权重组合,得到组合评价模型。

(1) 建立评价向量矩阵。设有  $m$  个指标、 $n$  个方案待评价,可构建  $X_{m \times n}$  评价矩阵。

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

式中: $x_{ij}$ 是第  $i$  个指标  $j$  方案的指标值; $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 熵值法确定权重。首先对各评价指标标准化,得到标准化矩阵  $Y = \{y_{ij}\}_{m \times n}$ ,计算第  $i$  项指标下第  $j$  区域指标值的比重:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^n y_{ij}} \quad (2)$$

根据熵的定义可得  $i$  项指标的信息熵值:

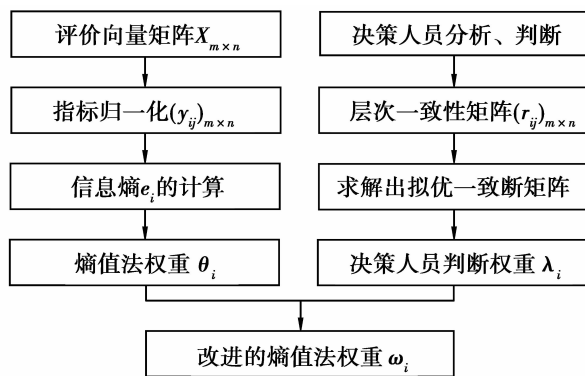


图 1 组合评价模型构建流程

$$e_j = -C \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

式中:  $C = (\ln n)^{-1}$ 。

$j$  指标的权重为:

$$\theta_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{k=1}^m (1 - e_k)} \quad (4)$$

(3) 基于改进层次分析法的主观权重。首先根据指标重要程度形成一致性判断矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times m}$ 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据判断矩阵  $R$ , 计算其对应的反对称矩阵, 求反对称矩阵对应的最优传递矩阵, 导出判断矩阵的拟优化一致矩阵。

① 反对称传递矩阵  $C$ 。设  $A = [a_{ij}]$ ,  $B = [b_{ij}]$ ,  $C = [c_{ij}] \in R^{m \times n}$ , 由定义得: 若  $A$  为互反矩阵, 并且  $a_{ij} = a_{ik}/a_{jk}$ , 则  $A$  是一致的, 若  $B$  为反对称矩阵, 且  $b_{ij} = b_{ik} - b_{jk}$ , 则  $B$  是传递的。显然, 上面的判断矩阵  $B$  是互反矩阵且一致的。令  $C_{ij} = \lg b_{ij} (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$ , 则  $C$  是反对称矩阵, 并且是传递的。

② 最优传递矩阵  $D$ 。定义: 若存在传递矩阵  $D$ , 使  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{ij} - C_{ij})^2$  最小, 则  $D$  为  $C$  的最优传递矩阵。

定理 1: 若  $C$  为反对称矩阵, 则  $C$  的最优传递矩阵  $D$  满足  $d_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_{ik} - c_{jk})$ 。

③ 拟优一致矩阵  $B'$ 。定理 2: 若  $B$  是互反矩阵,  $C = \lg B$ ,  $D$  是  $C$  的最优传递矩阵, 那么  $B' = 10d$  是  $B$  的一个拟优传递矩阵, 并且它是一致的。

由上可知, 矩阵  $B'$  是  $B$  的拟优一致矩阵, 并且它是一致的。所以, 由  $B'$  就可以直接求出权重值, 不必进行一致性检验。得到决策人员确定的各评价指标的判断权重  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 。

(4) 组合权重。各评价指标的组合权重  $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$  可计算为:

$$w_j = \frac{\theta_j \cdot \lambda_j}{\sum_{k=1}^m (\theta_k \cdot \lambda_k)} \quad (6)$$

式中:  $0 \leq w_j \leq 1$ ,  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ ,  $w_j$  是  $j$  指标的组合权重;  $\theta_j$  是熵值赋权法计算的  $j$  指标权重;  $\lambda_i$  是层次分析法计算的  $j$  指标权重。

(5) 综合评价。采用上述计算方法得到的组合权重, 用下式即可计算得到各评价方案的评价值  $z_i$ , 进而利用评价值进行电网规划方案的优选决策。

$$z_i = \sum_{j=1}^m w_j y_{ij}, (i = 1 \sim n) \quad (7)$$

式中,  $w_j$  为各指标的组合权重,  $y_{ij}$  为指标归一化值, 表示第  $i$  个方案的第  $j$  个指标值。

## 2 实例分析

### 2.1 评价指标的选取

指标具有各种因素的多样性,指标的选取不是越多越好,指标过多会造成电网规划评价的不确定性增加,所以合理地选取评价指标是关键步骤,评价结果的准确性受指标的合理性直接影响。电网建设所期望的效益必然是社会效益和经济效益并重,因此在对其评价时必须考虑其综合效益。以往的许多文献评价电网规划方案仅从技术的角度或从投资效益的角度,并不能完全反映项目的总体情况。评价电力规划项目要建立综合的评价体系:首先,它作为投资项目,要考虑经济效益;其次,它是以电力技术为基础的,评价时应加入其技术方面的指标;再次,电力项目作为大型基础设施项目,对社会、环境的影响不可忽略。因此,评价的应该是其综合效益,指标选取的全面性和指标的可获得性的角度出发,力求指标体系完整、准确。

### 2.2 研究电网规划的资料

根据某城市电网规划报告,并考虑到指标选取的全面性和易获得性,用表 1 中的指标来构成城市电网规划方案的指标体系。

表 1 电网规划各方案的指标值

评价指标	指标名称	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
技术	负荷消减概率	0.008 2	0.013 2	0.008 2	0.008 67
	年期望缺供电量/MWH	26 338	4 902	2 606	2 665.7
	安全性	1	1	1	1
	重载线路个数比	0.133 2	0.428 5	0.142 8	0.133 2
	轻载线路个数比	0.000 001	0.142 8	0.142 8	0.066 6
	最大负载率	0.946 5	0.989 3	0.934 4	0.945 4
	负载不均衡度	0.253 2	0.380 3	0.345 6	0.322 2
	短路电流的合理性	0.799 3	0.799 2	0.799 2	0.799 2
环境	工频电场	1	1	1	1
	工频磁场	1	1	1	1
	土地资源利用效率	10.166 6	8.107 2	7.832 2	8.607 2
	景观协调度	0.75	0.9	0.45	0.6
经济	线路投资费用/万元	1 468.2	1 356.6	1 532.7	1 573
	运行费用/万元	38.54	43.8	38.11	36.79
适应性	最大供电负荷	937.42	906.52	947.47	939.552
	网路扩展欲度	0.375 1	0.416 6	0.416 6	0.375 1

### 2.3 改进 AHP 法权重计算结果

根据以上各指标数据,先建立两两比较判断矩阵,将指标体系中的每层因素用矩阵表示,并利用数值对其相对重要性做出判断。以确定准则层权重为例,根据改进 AHP 法的主要思路,先采用三标度对两两因素的重要程度进行比较,建立比较矩阵  $A_{ij}$ ,  $a_{ij}$  表示专家对指标  $a_i$  和  $a_j$  的相对重要性的打分。打分的规则采用

1-9 的比例标度法。构造判断矩阵  $B_{ij}$ , 再依次计算传递矩阵  $C_{ij}$ 、最优传递矩阵  $D_{ij}$ 、拟优一致矩阵  $B'_{ij}$ , 结果分别如表 2-表 5 列矩阵所示:

表 2 准则层  $A_n$  相对于目标层 A 的比较矩阵

A	A1	A2	A3	A4
A1	1	2.57	1.63	2.7
A2	3.5	1	2.67	0.613
A3	2.1	0.375	1	0.389
A4	0.37	0.286	0.323	1

表 3 构造判断矩阵 B

B	B1	B2	B3	B4
B1	1	1.981	5.7	7.9
B2	0.5	1	4.6	7.7
B3	0.18	0.22	1	3.2
B4	0.13	0.13	0.31	1

表 4 构造计算传递矩阵 C

C	C1	C2	C3	C4
C1	0	0.3	0.76	0.9
C2	-0.3	0	0.66	0.89
C3	-0.76	-0.66	0	0.51
C4	-0.9	-0.89	-0.51	0

表 5 最优传递矩阵 D

D	D1	D2	D3	D4
D1	1	2	5.75	7.94
D2	0.5	1	4.57	7.76
D3	0.17	0.22	1	3.24
D4	0.13	0.13	0.31	1

最后求拟优一致矩阵的特征向量并进行归一化, 得权向量  $\lambda = (0.51 \quad 0.35 \quad 0.97 \quad 0.045)$ 。用同样的方法计算出指标层中各个因素的权重, 得到权向量:  $\lambda_1 = (0.0573 \quad 0.0573 \quad 0.0152 \quad 0.1146 \quad 0.0032 \quad 0.0136 \quad 0.0061 \quad 0.0382)$ ,  $\lambda_2 = (0.1146 \quad 0.1146 \quad 0.0382 \quad 0.0382)$ ,  $\lambda_3 = (0.275 \quad 0.0306)$ ,  $\lambda_4 = (0.0693 \quad 0.0139)$ 。

## 2.4 组合权重的结果

对于各项指标进行归一化处理分别采用式(2)-(4)计算得到各评价指标的熵值及权重值。由改进的熵值赋权法理论可知, 改进的熵值赋权法权重综合考虑了客观赋权法和主观赋权法两方面因素, 把熵值法权重和层次分析法的权重组合而得, 由式(6)计算得到各评价指标的组合权重。将熵值法权重  $\theta_i$  和改进层次分析法权重  $w_i$  分别代入式(7)中计算得到各评价方案的评价值(表 6)。

表 6 电网规划方案指标权重

指标	1	2	3	4	5	6	7	8
改进 AHP 权重	0.0573	0.0573	0.1146	0.0152	0.0032	0.0136	0.0061	0.0382
熵值权重	0.426	0.426	0.142	0.0223	0.0087	0.0203	0.012	0.0837
综合权重	0.04995	0.04995	0.1283	0.0188	0.00595	0.01695	0.00905	0.0232
指标	9	10	11	12	13	14	15	16
改进 AHP 权重	0.1146	0.1146	0.0382	0.0382	0.275	0.0306	0.0693	0.0139
熵值权重	0.0481	0.0481	0.0351	0.0351	0.0672	0.0041	0.12	0.0381
综合权重	0.0813	0.0813	0.0366	0.0366	0.0474	0.0174	0.0947	0.026

根据表 2 至表 5 可以算出指标的改进 AHP 权重。同样, 利用上面的方法可以得出基于熵值法的指标权重。并计算出基于熵值法的权重和综合权重, 见表 6。经计算可得方案一的综合评分为 0.579, 方案二的综合评分为 0.395, 方案三的综合评分为 0.576, 方案四的 0.557, 说明方案一优于其他方案。

### 3 结 论

(1) 组合评价结果显示,研究电网规划方案中,方案 1 的综合评价价值最高,是电网规划的最佳规划方案。

(2) 构建了综合利用改进层次分析法主观权重信息和熵值法客观权重信息的组合评价模型,组合权重计算结果显示建立的组合评价模型认为工频磁场、工频电场、负荷增长率规划方案优选中是最重要的指标,体现出了对环境保护的重要性,符合环境保护的根本目标,并兼顾了社会、经济效益。

(3) 电网规划方案的组合评价模型的构建,为研究电网规划评价问题提供了一条新的解决思路,模型构建过程具有一定的普适性,可以推广应用到变电站选址评价、电网投资效益评价与保护等方面。

#### 参考文献:

- [1] 蒋鹏,顾洁,楼晓东. 电网规划技术经济评价方案研究[J]. 华东电力,2010,38(1):24-27
- [2] 石文辉,别朝红,王锡凡. 大型电力系统可靠性评估中的马尔可夫链蒙特卡洛方法[J]. 中国电机工程学报,2008,28(4):9-15
- [3] 刘心报. 决策分析与决策支持系统[M]. 北京:清华大学出版社,2009
- [4] BERTOLINI M, BRAGLIA M, CARMIGNANI G. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract[J]. International Journal of Project Management,2006,24(5):422-430
- [5] 赵俊光,唐恒海,吴启富. 电网规划方案经济评估方法的研究及软件实现[J]. 华东电力,2009,37(2):222-224
- [6] 胡家声,郭创新,叶彬. 离散粒子群优化算法在输电网络扩展规划中的应用[J]. 电力系统自动化,2004,25(2):31-36
- [7] 张粒子. 输电网规划方案经济评价方法的研究[D]. 北京:华北电力大学,2007
- [8] 江礼政. 基于层次分析法的重庆市不同发电技术竞争力比较[J]. 重庆工商大学学报,2008(1):18-21

## Construction of Combinational Evaluation Model for Power Grid Planning and Its Application

**GAO Lai-xin, TIAN Li, LI Ling-chun, WANG Jing**

(School of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Anhui Wuhu 241000, China)

**Abstract:** According to the characteristics of power grid plan, fiscal benefit, technical economy, reliability, its effect on the environment and so on need to be comprehensively considered, as a result, combinational evaluation model is constructed based on information entropy principle and by using simple subjective and objective evaluation model such as analytic hierarchy process evaluation, entropy evaluation and so on respectively, and then the results from simple model evaluation are comprehensively analyzed to ensure optimal control plan from the evaluation. Empirical research results show that the combinational evaluation model can effectively obtain the advantages of each evaluation model and promote the practicability of power grid plan scheme and provide a new research idea for the choosing and evaluating of power grid plan.

**Key words:** power grid planning; combinational evaluation; analytic hierarchy process; entropy method; weighting