

基于区间层次分析法的输电网规划综合评价决策

范利国, 牛东晓

(华北电力大学工商管理学院, 河北 保定 071003)

摘要: 针对输电网规划过程中常常出现的难以决策各个规划方案优劣的问题, 提出了基于区间层次分析法的输电网规划综合评判决策方法, 该方法通过用区间数代替点值对传统层次分析法进行改进, 合理地处理了决策因素的不确定性和专家判断的模糊性, 增强了对输电网规划方案评价结果的可信度。该方法采用最大最小模型法进行权重求解, 参考粗糙集理论的上逼近和下逼近将区间判断矩阵的权重求解转换为线性规划问题, 提高了求解算法的计算效率和精度, 具有良好的适用性。算例结果表明, 该方法具有速度快、精度高的特点。

关键词: 输电网规划; 综合评判决策; 区间层次分析法; 权重; 最小模型

An IAHP-based MADM method in transmission network planning

FAN Li-guo, NIU Dong-xiao

(1.School of Business Administration, North China Electric Power University, Baoding 071003,China)

Abstract: Aiming at multi-attribute decision(MADM) problem in transmission network planning, an interval analytic hierarchy process(IAHP)-based method of transmission network planning is proposed. The method improves traditional analytic hierarchy process by using interval data instead of dot data, dispose rationally uncertainty of decision factor and fuzz of judge of experts and boosts up reliability of evaluation result in transmission network planning. The method adopts upper model and lower model method to resolve weight. The idea is changing weighted resolve of judgment matrix to linear programming problem by referring upper approach concrete algorithm and improves efficiency and precision of calculation. Case results show that the method has fast speed and high accuracy.

Key words: transmission network planning; MADM; IAHP; weight; lower model

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)12-0047-05

0 引言

输电网规划的决策问题是在输电网规划的基础上对各种规划方案的经济性、合理性和发展性等目标相互比较以找出各目标综合最优的输电网规划方案的过程。目前已有多种方法被应用于该问题的求解中, 但这些传统方法多依靠规划专家单凭经验知识进行判断决策, 而这种依靠主观判断的方法即缺乏理论依据又存在较大的偶然因素。但近年来输电网规划中决策问题呈现出决策因素复杂化、不确定因素增加和决策主体多元化等新情况, 新的规划问题要求综合考虑可靠性、投资回报、环保、美观、占地、线路走廊等多种因素。随着我国新一轮电源投资热潮的出现^[1], 电源建设对规划结构合理的输电网提出了更高的要求。因此要解决这样一个含有大量不确定因素的决策问题, 需要从理论上对专家决策提供支持, 建立人机合作决策方法, 既利用数

学优化和专家决策的优点, 又克服二者的局限性, 系统地处理包含多种不确定性的定量和定性因素, 并能充分体现多元决策主体的意见和偏好。

近年来综合评判决策理论成为解决多属性决策问题的常用方法。它是对多个互有竞争力的方案, 按不同属性进行定量和定性的评价, 最后得到各方案的综合评价并完成决策。目前有关的理论主要包括模糊综合评判、层次分析法和效用理论等, 取得了较好的结果。

层次分析法是1977年由美国匹兹堡大学教授、著名运筹学家萨迪提出的一种实用的多准则决策方法^[2]。其思想是首先通过建立清晰的层次结构来分解复杂问题, 其次通过两两比较用相对标度将各种属性标量化, 并逐层建立判断矩阵, 然后求解判断矩阵局部权重, 最后计算各个方案的综合权重并排序。该方法的优点在于将人的判断标量化, 通过定性和定量相结合的方法系统地处理各种决策问题,

形成人机合作决策的能力。

但在电网规划中,存在着许多影响规划结果的不确定性因素,这些不确定性因素造成规划过程中信息的不确定性,在进行两两比较时往往形成点值描述的判断矩阵,使得决策结果的可信度大大降低。为了克服这种用点值描述判断结果的弊端,可以考虑采用区间数进行描述来加以改进,在各个方案两两比较时用区间数代替点值来构成判断矩阵,并运用适当的判断矩阵权重求解方法来求出区间数权重,最后计算得到各个方案的区间数综合权重并排序,于是形成区间层次分析法。该方法有效地描述了判断的不确定性,能够增强决策结果的可信度。

为此,本文在区间层次分析法的基础上,针对输电网规划综合评判决策问题,提出新的区间数权重的求解方法,将区间判断矩阵的权重求解转换为线性规划问题,从而提高算法的计算效率和精度,并在近期完成的一个输电网规划实际案例中加以应用,取得了较好的优化结果。

1 改进的区间层次分析法决策数学模型

对于区间数判断矩阵,其权重的求解方法较多,常用的有:随机模拟法、区间特征根法(IEM)、迭代法和最大最小模型法(UM, LM)等。本文采用最大最小模型法^[3]进行权重求解,基本思路是参考粗糙集理论的上逼近和下逼近将区间判断矩阵的权重求解转换为线性规划问题^[3],具体算法如下:

设区间矩阵 A 可表示为^[4]:

$$[A] = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中:第 i 行第 j 列的元素 A_{ij} 可以用区间数表示为:

$A_{ij} = [a_{ij}, \overline{a_{ij}}]$, 则对应的权重向量 W_i 可以表示为区间权重 $W_i = [\underline{w}_i, \overline{w}_i]$, 其中 \overline{w}_i 和 \underline{w}_i 分别是区间权重 W_i 的上、下界,通过粗糙集理论建立最大和最小模型求解线性规划问题。最小模型目标函数可以描述为:

$$\max \sum_i (\overline{w}_i - \underline{w}_i) \quad (2)$$

要满足的约束条件有:

$$\forall i, j (i \neq j) \overline{a_{ij}} \underline{w}_j \geq \overline{w}_i; \quad (3)$$

$$\forall i, j (i \neq j) \underline{a_{ij}} \overline{w}_j \leq \underline{w}_i; \quad (4)$$

$$\forall j, \overline{w}_j \leq 1 - \sum_{i \in \Omega - \{j\}} \underline{w}_i; \quad (5)$$

$$\forall j, \underline{w}_j \geq 1 - \sum_{i \in \Omega - \{j\}} \overline{w}_i; \quad (6)$$

$$\forall i, \underline{w}_i \leq \overline{w}_i; \quad (7)$$

$$\forall i, \underline{w}_i, \overline{w}_i \geq 0; \quad (8)$$

2 基于改进区间层次分析法输电网规划评判决策

2.1 建立层次结构

对于电网规划决策这类复杂问题,必须首先明确决策目标,然后依据决策问题所要达到的目标将影响决策目标地相关因素进行分析并分类,建立脉络清晰的层次结构,以利于问题的进一步求解。建立 AHP 层次结构如图 1 所示。

图 1 所示层次结构是关于 3 个待选的电网规划方案的综合优越性评分这一决策目标而建立的,决策目标包含四个属性,分别是社会性、可靠性、经济性和适应性,而这四个属性下面又包含了若干属性,以此形成了相互联系,彼此依存的树状层次结构。

AHP 的最终目的是求出各方案对总目标的相对重要性评分,称为综合权重,本案例综合权重的实际含义是各方案间相对的综合优越性评分。求综合权重前,必须求解层次结构中的局部权重。局部权重分为两类,一类是同层属性对于上一层父属性的相对重要性,称为属性权重,例如上图中社会性对于综合优越性评分的权重,另一类是各方案对于某属性的相对优越性,称为方案权重,例如方案 1、方案 2 和方案 3 对于属性城市协调的优越性评分。

2.2 建立方案属性决策表

将各个方案在图 1 中层次结构所表示的各个属性的定性、定量结果进行分类提取和转换,填入方案属性决策表,如表 1 所示。

2.3 形成判断矩阵

形成判断矩阵的过程就是数据标量化的过程。标量化是指通过一定的标度体系,将各种原始数据转换为可直接比较的规范化格式的过程。数据标量化既可采用模糊综合评判中的绝对标量法,又可采用 AHP 中两两比较的相对标量法。由于实际打分过程表明人脑对事物两两比较的判断要比对多个事物同时比较的判断容易和准确得多,所以本文采用 AHP 中两两比较的相对标量法,主要通过专家进行

细致的两两比较打分将数据标量化。这里, 选择互反性 1~9 标度作为区间判断矩阵的标量化方法。所谓标度的互反性是指: 若方案 i 对方案 j 的比较结果是 a_{ij} , 则方案 j 对方案 i 的比较结果 a_{ji} 是 a_{ij} 的倒数 $1/a_{ij}$ ^[5]。例如方案 1 和方案 2, 相对于设

备技术先进性及操作维护的方便灵活性这一属性进行比较, 方案 2 相对于方案 1 的优势程度介于稍微和明显之间, 这时判断矩阵元素 a_{21} 就可用区间数 [2, 3] 表示。

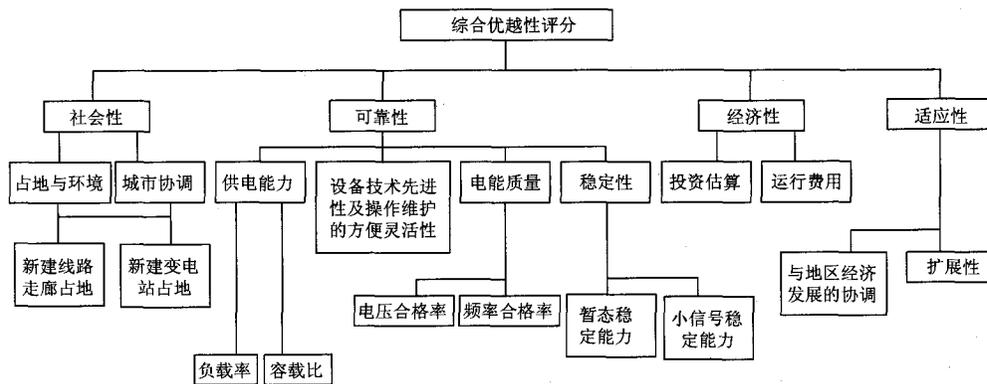


图 1 AHP 层次结构

Fig.1 AHP hierarchy of the case

表 1 方案属性决策表

Tab.1 Decision table of alternatives

方案属性		方案1	方案2	方案3	
社会性	占地与环境	新建线路走廊占地	最多	较少	一般
		新建变电站占地	一般	较少	最多
	城市协调	最好	较好	较差	
可靠性	供电能力	负载率/(%)	50	68	62
		容载比	2.1	1.8	2.0
	设备技术先进性及操作维护的方便灵活性		较好	最好	较好
	电能质量	电压合格率/(%)	99.8	99.3	99.5
		频率合格率/(%)	99.5	99.4	99.7
	稳定性	暂态稳定能力	较好	最好	较差
小信号稳定能力		最好	较好	较好	
经济性	投资估算/(万元)	1 860 293	1 632 342	1 703 895	
	运行费用/(万元)	27 904	20 188	24 554	
适应性	与地区经济发展的协调	最好	较差	较好	
	扩展性	较好	最好	较差	

2.3.1 方案判断矩阵

本案例采用 AHP 的相对标量法, 根据表 1 中的数据共形成 14 个 3×3 的方案判断矩阵。根据表 1 中的数据可知, 各个方案相互比较的数据即包括定性数据又包括定量数据, 所以形成判断矩阵的过程中应该加以区分。下面分别针对数据属性的不同给出判断矩阵的形成过程。以表 1 中的社会性中的“城市协调”属性为例介绍定性数据的形成矩阵过程, 专家就“城市协调”这一定性属性对 3 个方案进行两两比较。方案 1 中与城市协调的能力最好, 而方案 2 的能力较好, 就此一点, 专家认为方案 1 相对

于方案 2 的优势程度介于“稍微”和“明显”之间, 将专家描述语言标量化形成区间数 [2, 4], 由此形成 3 个方案关于这一属性的方案判断矩阵如表 2。

表 2 方案定性属性判断矩阵

Tab.2 Judgment matrix of qualitative attribute of alternatives

	方案1	方案2	方案3
方案1	[1, 1]	[2, 4]	[5, 8]
方案2	[1/4, 1/2]	[1, 1]	[2, 4]
方案3	[1/8, 1/5]	[1/4, 1/2]	[1, 1]

以表 1 中的“负载率”这一属性为例介绍定量数据的形成矩阵过程, 专家就“负载率”这一定性

属性对 3 个方案进行两两比较。

方案 1 中负载率为 50%，而方案 2 为 68%，于是方案 2 相对于方案 1 在该属性上的优势可标量化为 0.68/0.5，等于 1.36，形成区间数为 [1.36, 1.36]，由此形成 3 个方案关于这一属性的方案判断矩阵如表 3。

于是方案 2 相对于方案 1 在该属性上的优势可标量化为 0.68/0.5，等于 1.36，形成区间数为 [1.36, 1.36]，由此形成 3 个方案关于这一属性的方案判断矩阵如表 3。

表 3 方案定量属性判断矩阵

Tab.3 Judgment matrix of quantitative attribute of alternatives

	方案1	方案2	方案3
方案1	[1.0000, 1.0000]	[0.7353, 0.7353]	[0.8065, 0.8065]
方案2	[1.3600, 1.3600]	[1.0000, 1.0000]	[1.0968, 1.0968]
方案3	[1.2400, 1.2400]	[0.9118, 0.9118]	[1.0000, 1.0000]

2.3.2 属性判断矩阵

根据图 1 所示的层次结构共形成 9 个属性判断矩阵，以图 1 中属性“社会性”为例，专家就属性“占地与环境”和“城市协调”对上一级父属性“社会性”的重要性进行两两比较判断，例如专家认为“占地与环境”相对于“城市协调”的重要性介于“稍微”和“明显”之间，则形成区间数 [3, 5]，由此形成两个子属性相对于父属性的判断矩阵如表 4。

表 4 属性“社会性”判断矩阵

Tab.4 Judgment matrix of the attribute of sociality

	占地与环境	城市协调
占地与环境	[1.0000, 1.0000]	[3, 5]
城市协调	[1/5, 1/3]	[1.0000, 1.0000]

2.4 判断矩阵一致性校验

在专家两两比较判断的过程中，若比较量超过 2 个，就可能出现不一致的判断。比如就某属性的判断过程中，专家认为方案 1 相对于方案 2 的优越程度介于“明显”和“强烈”之间，而方案 3 相对于方案 2 的优越程度介于“同等”和“稍微”之间，则方案 1 应该优于方案 3。而专家在两两比较判断过程中，可能得到方案 1 和方案 3 “同等”，甚至方案 1 劣于方案 3 的结果。所以有必要对判断矩阵进行一致性校验。

区间数 1~9 标度互反性判断矩阵的一致性可分为完全一致、弱一致和不一致 3 种情况^[6]。如果判断矩阵一致性程度过低，则判断信息可靠度降低，这时需要校正判断矩阵或重新判断，直到满足一定的一致性要求为止。本文采用文献 [4] 的方法进行判断矩阵的一致性校验。

2.5 综合权重的求解计算及排序

各判断矩阵求解出局部权重后，可根据以下公式求解方案对上一层属性的权重：

$$W_i^{(k+1)} = \sum_{j=1}^n W_{ij}^{(k)} W_j^{(k)}, \quad i=1,2,\dots, m \quad (9)$$

式中： $W_i^{(k+1)}$ 为方案 i 对 $k+1$ 层属性的方案权重， $W_j^{(k)}$ 为 $k+1$ 层属性在 k 层的子属性 j 的权重， $W_{ij}^{(k)}$ 为方案 i 对子属性 j 的方案权重， n 为 $k+1$ 层属性的子属性个数， m 为方案个数。

得到各方案的综合权重后，为选择最优方案，需对由区间数表示的综合权重进行排序。本文采用可能度判断矩阵的方法排序^[7]，方法如下：

设有两个区间数

$$A = [a^-, a^+], \quad B = [b^-, b^+]$$

则定义 $A \geq B$ 的可能度为：

$$P(A \geq B) = \frac{\max\{0, L(A) + L(B) - \max(0, b^+ - a^-)\}}{L(A) + L(B)} \quad (10)$$

式中： $L(A) = a^+ - a^-$ ， $L(B) = b^+ - b^-$

按式 (10) 对综合权重进行两两比较，即可建立由可能度构成的点值判断矩阵。

3 算例

本文采用上述最小模型法求解案例中的各判断矩阵，算法采用 C 语言编制，将表 2、3 中的判断矩阵的权重向量的计算结果列于表 5。

表 5 判断矩阵权重求解结果

Tab.5 The result of weight of judgment matrix

判断矩阵	W1	W2	W3
城市协调	[0.58825, 0.72725]	[0.18181, 0.29413]	[0.09091, 0.11765]
负载率	[0.27775, 0.27775]	[0.37774, 0.37774]	[0.34439, 0.34439]

本算例中求得方案 1 关于父属性“供电能力”的两个子属性“负载率”、“容载比”的 3 方案权重分别为 W_{11} 和 W_{12}

$$W_{11}^{(3)} = [0.27775, 0.27775]$$

$$W_{12}^{(3)} = [0.35595, 0.35595]$$

两个子属性“负载率”和“容载比”关于父属性“供电能力”的属性权重分别为 $W_1^{(3)}$ 和 $W_2^{(3)}$ ：

$$W_1^{(3)} = [0.20000, 0.33330]$$

$$W_2^{(3)} = [0.66660, 0.80000]$$

则方案 1 关于父属性“供电能力”的权重为:

$$W_1^{(2)} = W_{11}^{(3)}W_1^{(3)} + W_{12}^{(3)}W_2^{(3)} = [0.29283, 0.37733]$$

根据式(2)计算方案 1、方案 2 和方案 3 关于各个属性的综合权重分别为 $[0.18508, 0.38092]$ 、 $[0.25391, 0.49735]$ 、 $[0.14779, 0.26913]$ 。

得到各方案的综合权重之后, 本文将采用可能度判断矩阵的方法将区间数进行排序以得到综合权重最优的方案。

根据上述可能度的定义对区间数建立两两比较的可能度矩阵, 如表 6 所示。

表 6 综合权重排序的可能度判断矩阵

Tab.6 Possibility-based judgment matrix of integrated weight sequence

判断矩阵	方案1	方案2	方案3
方案1	0.5	0.2891	0.7350
方案2	0.7109	0.5	0.9583
方案3	0.2650	0.0417	0.5

按文献[7]中的方法求解上述矩阵的权重, 得到各方案综合权重的可能度排序为 0.33735、0.44487、0.21778。

通过区间判断矩阵的综合权重的求解及其可能度排序的结果, 根据可能度排序值的大小, 排序结果从优到劣的顺序依次为: 方案 2、方案 1、方案 3, 说明方案 2 相对于其他两个方案而言, 其同层属性对于上一层父属性的相对重要性的属性权重, 例如社会性、经济性等对于综合优越性评分的权重以及其各方案对于某属性的相对优越性的方案权重, 例如方案 1、方案 2 和方案 3 对于属性城市协调的优越性评分的综合权重最大, 则方案 2 为推荐方案。由此我们利用本文所阐述的方法解决了输电网规划过程中决策目标过多的实际问题, 为输电网规划决策提供了可以借鉴的方法。

4 结论

本文提出了基于区间层次分析法的输电网综合评价决策方法, 取得了较好的计算结果, 主要工作如下:

(1) 建立了比较完整的输电网规划方案综合评判的区间层次分析的层次结构, 同时给出了较为完整的评判决策过程。

(2) 采用最大最小模型法求解区间矩阵的权

重, 将权重的求解转换为线性规划问题, 提高了计算效率和精度。

参考文献

- [1] 戴彦, 文福栓, 韩祯祥. 电力体制改革后的电网规划[J]. 中国电力企业管理, 2004, (9): 43-44.
DAI Yan, WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang. Transmission Network Planning of Regime Reforming of Power[J]. China Power Enterprise Management, 2004, (9): 43-44.
- [2] 葛少云, 董志. 基于区间层次分析法的城市电网电缆化改造[J]. 中国电力, 2004, 37(10): 34-37.
GE Shao-yun, DONG Zhi. Cabling Reconstruction of Urban Electric Network Based on Interval Analytic Hierarchy Process[J]. Electric Power, 2004, 37(10):34-37.
- [3] 肖竣, 罗凤章, 王成山, 等. 区间层次分析法的权重求解方法比较研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(3): 12-16.
XIAO Jun, LUO Feng-zhang, WANG Cheng-shan, et al. Comparing and Research on Weight Resolving Method of Interval Analytic Hierarchy Process[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2004, 16(3):12-16.
- [4] Kazutomi Sugihara, Yutaka Maeda, Hideo Tanaka. Interval Evaluation by AHP with Rough Set Concept[A]. In: Proceedings on the Seventh International Workshop on Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular Soft Computing[C]. 1999.
- [5] 吴育华, 高荣. 区间层次分析法—IAHP[J]. 天津大学学报, 1995, 28(5): 700-705.
WU Yu-hua, GAO Rong. Interval Approach to Analysis of Hierarchy Process[J]. Journal of Tianjin University 1995, 28(5):700-705.
- [6] 韦兰用. 区间数判断矩阵的一致性及其判别法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2001, 19(4): 40-46.
WEI Lan-yong. Concordance and Discriminant Method of Interval Judgment Matrix[J]. Journal of Guangxi Normal University, Natural Science, 2001, 19(4):40-46.
- [7] 徐泽水, 达庆利. 一种基于可能度的区间判断矩阵排序法[J]. 中国管理科学, 2003, 11(1): 63-65.
XU Ze-shui, DA Qing-li. A Possibility-based Method for Priorities of Interval Judgment Matrix[J]. Chinese Journal of Management Science, 2003, 11(1): 63-65.

收稿日期: 2006-11-28; 修回日期: 2007-01-11

作者简介:

范利国(1979-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事电力系统规划方法及决策方面的分析研究工作; E-mail: fanliguo@sohu.com

牛东晓(1962-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力系统负荷预测等。