

文章编号:1671-6833(2005)02-0023-04

模糊优选在电网规划综合决策中的应用

周任军¹, 徐志生², 杨洪明¹

(1. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410076; 2. 湖南省电力勘测设计院, 湖南 长沙 410007)

摘要:利用模糊优选方法,采用多目标优化规划,获得电网规划的优化多解方案集,并计算出方案的定量目标及其特征值矩阵;对于定性准则,建立基于规划知识和经验的专家系统,获取方案的定性目标模糊评价矩阵.对定量和定性目标的两种矩阵,采用统一的决策目标相对优属度进行方案优选决策.当不满意决策优选的规划方案时,则修正和调整多目标间的权重及其隶属函数,重新进行优化规划方案的计算,直至获得满意方案.该方法既能计及定量、定性因素,又能体现系统的整体优化性能,将其应用于规划决策支持系统,可实现具有智能模拟的电网规划方案决策功能.

关键词: 电网规划; 多目标模糊优选; 优属度; 决策支持系统

中图分类号: TM 761.1 **文献标识码:** A

0 引言

由于电网规划的多目标性及不确定性,所以规划问题不仅是优化问题,也是一个具有不确定性的、复杂的、多目标的决策问题.各种电网规划方法^[1]所得到的方案,必须经过多项指标的综合评判,才能被决策者确定是否被采纳.可以选用的决策方法有模糊综合评判^[2]、层次分析^[3]等,但是在电力系统规划的计算机模拟决策中,模糊评判方法对综合指标的处理过于简单,不便于应用于知识库的建立和使用;层次分析法则将原规划问题中定量化计算和定性化分析的指标,在决策的过程中均按照定性指标的量化方式处理,无法体现原有优化计算结果的精确和优化所得方案的各自优势.

因此本文作者首次提出了模糊优选决策方法实现电网规划的模拟决策,该方法针对定量目标和定性准则,分别计算特征值矩阵和模糊评价矩阵,并采用了具有统一性质的决策目标相对优属度^[4].应用此方法,开发了基于知识的专家系统的电力系统规划的模拟决策模块,完善了决策支持系统中的决策功能.

1 电网规划的模拟决策方法

1.1 电力规划的模拟决策流程

电力规划的智能模拟决策的基本流程如图1所示.

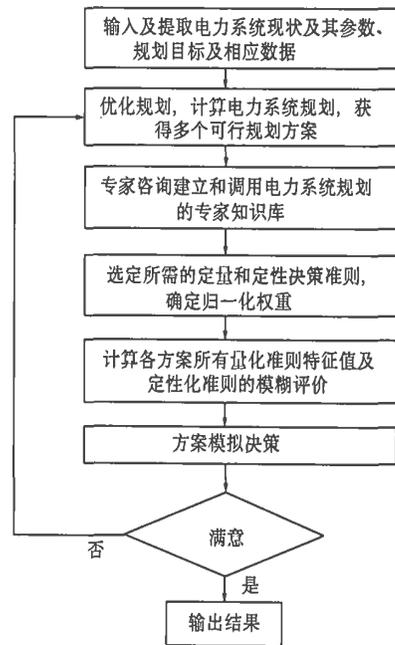


图1 电力规划的智能模拟决策基本流程

Fig. 1 The flow chart of simulation decision for electrical power system planning

收稿日期:2005-01-01; 修订日期:2005-02-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60474070)

作者简介:周任军(1964-),女,山西省太原市人,长沙理工大学副教授,博士,主要从事电力系统规划、负荷预测、有功无功优化运行、模糊决策等方面的研究.

1.2 电网规划模糊决策的多决策准则

决策过程中,较之原规划的优化问题将考虑更多相关因素.将原有规划问题的多目标进一步扩展为多项准则,准则中既有定量计算数据,也有定性分析准则,一般来说可以定量计算的有:投资费用、网损、可靠性、环境影响、电压水平等;定性分析的准则有:载荷能力、运行方式的灵活性、网络结构的合理性、电网建设的过渡性等.

在规划的求解过程中不可能将所有目标都列入进行多目标的寻优,而是列出几项重要量化目标来进行电网的优化规划,其它定量或定性目标则作为决策者对方案进行满意评判时的综合因素予以考虑.

1.3 优化规划及备选方案的确定

电网规划问题的多目标多因素则必导致其是一个多解性问题.但是经过优化规划的计算,可行解已经是较优解,加之受待规划的系统的状况、地理条件等因素的限制,备选的决策规划方案往往只是有限个.

在电力系统规划的决策支持系统中,备选方案可以按多目标的优化规划遗传算法、随机规划法等得到多个较优选取方案,也可以将启发式规划所得方案列入.遗传算法^[3]由于算法本身的特点,更是会得到多解方案.加之规划的不确定性和一些定性因素的考虑,所以对优化规划后所获得的结果和方案还需要进行模拟决策.本文采用遗传算法获取规划可行方案及其相应各方案的各定量准则值.

1.4 多目标多方案的模糊决策

由规划决策支持系统的优化规划计算,产生待规划地区规划年的多个系统规划方案,每个方案的各个特性指标均不相同,对于此类问题,可以采用多种决策方法,如模糊综合评判、层次分析法等.但是这些方法对于此电网规划中既有定量又有定性目标的混合多目标系统的决策问题,均有难以统一的隶属计算.所以本文作者提出了采用多目标模糊优选的电网规划模拟决策方法,对定量和定性的两种准则,采用具有统一性质的决策目标相对优属度,实现电力系统规划决策支持系统中的方案模拟决策.同时,当增加或删除准则,或某些准则在优化中被处理成量化指标或者是定性指标时,本方法均可以在程序中方便地解决.

2 定量定性多目标模糊优选方法

设论域 U 中有 n 个决策组成决策集

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\},$$

系统有 m 个目标(或准则)组成对决策集 D 的评价目标集:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\},$$

其中目标 1 至 a 为定量目标,具有定量的特征值;目标 $a+1$ 至 m 为定性目标.所以组成了定量与定性目标的混合多目标系统.对于定量与定性的目标,其优选决策应采用具有统一性质的决策目标相对于优的隶属度,即目标相对优属度.

2.1 定量目标的相对优属度

2.1.1 目标特征值矩阵

决策系统具有 a 个定量目标、 n 个待决策方案,对决策方案集 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 的各个定量目标 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_a\}$ 进行计算,可以得到定量评价的特征值矩阵 $X_a \times n$.

2.1.2 目标相对优属度矩阵

所谓相对优属度即是决策目标的相对于优的隶属度.效益型目标的相对优属度为

$$r_{ij} = \frac{j\hat{x}_{ij} - \bar{x}_{ij}}{j\hat{x}_{ij} - j\hat{x}_{ij}} \quad (1)$$

其中 $j\hat{x}_{ij}$ 、 $j\hat{x}_{ij}$ 分别表示决策集 $j = 1, 2, \dots, n$ 时对目标的特征值取大、取小.

同理可得成本型目标的相对优属度.

对定量目标的特征值矩阵按照式(1)计算,得到定量目标的相对优属度矩阵 $R_a \times n$.

2.2 定性目标的相对优属度

决策方案 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 中决策 j ($j = 1, 2, \dots, n$) 的优越性,还要通过定性目标集 $P = \{p_{a+1}, p_{a+2}, \dots, p_m\}$ 的优越性综合评定,并逐个地进行量化.

2.2.1 定性目标的模糊标度矩阵

关于目标 i 通过决策集间各决策的二元对比,得到关于目标 i 的优越性排序,通过判断的语气算子及其对应的模糊标度值,可得 n 个决策方案关于目标 i ($i = a+1, a+2, \dots, m$) 的二元对比优越性排序标度矩阵:

$${}_i\mu = \begin{bmatrix} {}_i\mu_{11} & {}_i\mu_{12} & \Lambda & {}_i\mu_{1n} \\ {}_i\mu_{21} & {}_i\mu_{22} & \Lambda & {}_i\mu_{2n} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ {}_i\mu_{n1} & {}_i\mu_{n2} & \Lambda & {}_i\mu_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, ${}_i\mu_j$ 为关于目标 i 决策 k 对决策 j 的优越性模糊标度,其模糊标度值可取的对应于判断值按照同样、稍微、明显、非常、极端、十分等依此取为 0.5 至 1 之间的相应数值.

2.2.2 相对优属度矩阵

矩阵 μ 的每一行模糊标度的平均值表示了决策 j 关于目标 i 对于优的相对隶属度:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n t_{jk}}{n-1} \quad (3)$$

式中 $j \neq k, j = 1, 2, \dots, n$.

令 $r_{ij} = r_{ij}$, 所以可以得到定性准则的相对优属度矩阵 $R_{(m-a) \times n}$.

2.3 目标权重的计算

目标的权重的确定有多种方法, 如经验权重法、层次分析法等. 本文构造目标重要性的有序二元比较矩阵 $\beta_{m \times m}$, 其中元素 β_{ij} 为模糊标度值, 表示目标 i 比目标 j 的重要程度, 模糊标度与语气算子的对应关系如前所述. 由有序二元比较矩阵 $\beta_{m \times m}$ 构造表示相对重要性的有序相及矩阵 $\Phi_{m \times m}$, 其中

$$\Phi = \begin{cases} 1, & \beta_i \leq \beta_j \\ \beta_j / \beta_i, & \beta_i > \beta_j \end{cases} \quad (4)$$

如果最重要的目标排在第 l 位, 目标 l 对目标 i 的优越性模糊标度为 β_{li} , 则按简洁计算可得未归一化的目标权向量为

$$w'_i = \frac{1 - \beta_{li}}{\beta_{li}}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

归一化后, 得 m 个目标的权重向量为 $w_i, i = 1, 2, \dots, m$.

2.4 决策方案的相对优属度及优选决策

可以证明, 定量及定性目标相对优属度矩阵 $R_a \times n$ 和 $R_{(m-a) \times n}$ 具有统一的性质, 由此得到合成的混合优属度矩阵 $R_{m \times n}$.

(1) 距优距离: $R_{m \times n}$ 中决策 j 与绝对优决策的差别的广义权重距离

$$d_{jg} = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m w_i (g_i - r_{ij})^p} \quad (6)$$

(2) 距劣距离: 与劣等决策的广义权重距离

$$d_{jb} = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - b_i)^p} \quad (7)$$

式中 p 为距离参数, 取海明距离 $p = 1$.

(3) 决策方案的相对优属度为

$$u_j = \frac{1}{1 + (d_{jg}/d_{jb})^2}, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

3 算例

将本文的定量与定性混合多目标模糊优选决策方法应用于湖南省电力系统规划决策支持系统的模拟决策模块中, 由优化计算所得方案越多, 越能体现本模拟决策系统的优越性. 以某规划年某

接入系统规划设计为算例, 取得了满意的方案决策结果. 文中为方便说明, 取其中 6 个更优的方案进行经济技术的比较和模拟决策.

3.1 方案定量目标特征矩阵及定性准则评判矩阵

3.1.1 定量目标特征矩阵

根据系统优化计算、潮流分析及经济比较, 将方案中可以量化的技术经济指标列入表 1, 形成规划决策定量目标特征矩阵 X .

表 1 某电网规划设计方案经济技术量化指标

项目	方案A	方案B	方案C	方案D	方案E	方案F
投资/万元	201 800	214 800	187 900	214 300	196 300	147 900
有功网损/MW	42.324	43.271	41.259	48.125	49.241	51.142
电压水平/%	8.256	7.985	8.365	9.245	9.146	10.962
年费用/万元	25 730	27 800	23 740	28 680	27 330	22 130
供电可靠/%	99.986	99.865	99.891	99.875	99.128	99.036

3.1.2 定性目标模糊标度判断矩阵

定性分析的多准则分别取为对环境影响、运行方式的灵活性、网络结构的合理性、电网建设的实施及过渡难易和远景发展适应性等.

提取专家系统知识库中关于方案各个定性指标的知识, 对于方案进行模糊评判, 形成规划决策定性目标的多项模糊标度矩阵, 此例中则为 6 个 (定性目标) 6×6 (方案) 矩阵.

3.2 规划方案的混合目标优属度矩阵

由定量目标特征矩阵和定性目标模糊标度判断矩阵, 算得定量定性混合目标的目标相对优属度矩阵, 列于表 2. 其中, 决策准则 1 至 11 分别为投资、有功网损、电压水平、年费用、供电可靠、潮流分布合理、稳定水平、网络结构、运行方式灵活性、实施及过渡难易、远景发展适应性.

表 2 各方案混合目标的目标相对优属度

准则	方案A	方案B	方案C	方案D	方案E	方案F
定量目标	0.194 3	0.000 0	0.402 1	0.007 5	0.276 5	1.000 0
定性目标	0.892 2	0.796 4	1.000 0	0.305 3	0.192 4	0.000 0
混合目标	0.909 0	1.000 0	0.872 4	0.576 8	0.610 0	0.000 0
定量目标	0.450 4	0.134 4	0.754 2	0.000 0	0.206 1	1.000 0
定性目标	1.000 0	0.872 6	0.900 0	0.883 2	0.096 8	0.000 0
混合目标	1.000 0	0.857 1	0.857 1	0.142 9	0.285 7	0.000 0
定量目标	1.000 0	0.875 0	0.375 0	1.000 0	0.125 0	0.000 0
定性目标	1.000 0	0.777 8	0.333 3	0.333 3	0.222 2	0.000 0
混合目标	1.000 0	1.000 0	0.200 0	0.300 0	0.200 0	0.000 0
定量目标	0.666 7	0.000 0	0.000 0	0.333 3	1.000 0	0.333 3
定性目标	1.000 0	0.800 0	0.100 0	0.600 0	0.000 0	0.500 0

3.3 规划方案模拟决策结果

由文中第 2 部分关于目标重要性的有序二元比较矩阵, 构造目标相对重要性, 由式 (9)、(10) 可得各个电量及定性的目标权重分别为: $w =$

[0.088 03, 0.117 36, 0.117 36, 0.117 36, 0.117 36, 0.084 48, 0.084 48, 0.068 39, 0.068 39, 0.068 39, 0.068 39] .

由式(6)~(8)依次计算可得各方案的距优距离 d_{jg} 、距劣距离 d_{jd} 及决策方案相对优属度 u_j ,如图2所示.

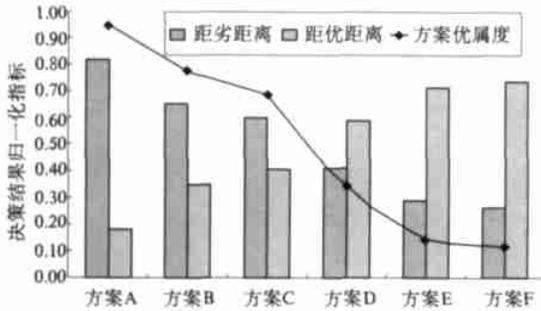


图2 方案模拟决策结果

Fig. 2 The simulating result of schemes

由图中可以看出,采用距优距离 d_{jg} 、距劣距离 d_{jd} 及决策方案相对优属度 u_j ,均可获得相同的最优规划设计推荐方案,各方案综合定量及定性的多目标的规划模拟决策结果为A方案.

4 结论

(1) 模拟决策既考虑了定量的目标又考虑了定性的准则,对实现规划方案的智能模拟决策功

能具有很强的实用性和可扩展性.

(2) 模糊优选法更准确地计及了定量目标的影响,更适用于专家知识的存储和提取.同时不仅通过隶属度的计算,更进一步地通过距优距劣距离,比较出方案的优属程度.

(3) 基于知识的专家系统中的规划专家知识,对决策结果有较大影响,所以有必要更多收集及滚动补充专家知识库内容.同时使用本系统,也可以更方便专家参与现场审查和决策.

参考文献:

- [1] 孙洪波. 电力网络规划[M]. 重庆:重庆大学出版社,1996.
- [2] LINARES P. Multiple criteria decision making and risk analysis as risk management tools for power systems planning [J]. IEEE Transactions on Power System, 2002, 17 (3): 895~900.
- [3] 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 (04).
- [4] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连:大连理工大学出版社,1994.
- [5] HAJELA P, LIN C Y. Genetic search strategies in multi-criterion optimal design [J]. Structural Optimization, 1992, 5 (4): 99~107.

An Application of Multi-attribute Fuzzy Optimal Selection to the Evaluation of Grid Planning

ZHOU Ren-jun¹, XU Zhi-sheng², YANG Hong-ming¹

(1. School of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China;

2. Hunan Electrical Power Design Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: The multi attribute fuzzy optimal selection (MADOS) is presented to realize the simulating decision making of grid planning that is a multi objective, multi factor, uncertain and complicated decision making problem for the first time. The MADOS is unified for quantitative objectives and qualitative criteria. The quantitative objectives of schemes can be calculated to form an eigenvalue matrix with the optimal programming. The qualitative criteria can be evaluated fuzzily to form an evaluation matrix through the expert system based on the planning knowledge. The relative membership matrix of different attributes can be calculated by the unified and relative subordinate degree. The weight of multi attributes can be confirmed through comparison matrix. The distances to optimal and to inferior extremes and maximum relative subordinate satisfied degree of the schemes, which is gained by further calculation, are used to make decision. The practical example shows that quantitative and qualitative methods are combined and the whole performance of planning is taken into account. It is practical and efficient to use the simulating making decision in the support system for electrical power planning.

Key words: power system planning; multi attribute fuzzy optimal selection; subordinate degree; membership decision making support system