

基于层次分析法的现状电网评估方法研究

李晓辉¹, 张来¹, 李小宇², 陈柱²

(1. 天津市电力公司技术中心, 天津 300022; 2. 天大求实电力新技术有限公司, 天津 300384)

摘要: 现状网评估对电网的建设和改造具有重要的指导意义, 现有的方法侧重于对单个项目进行评价, 未能形成系统的评估方案。将层次分析法和德尔菲法用于现状电网的评估中, 并建立了高、中压现状配电网的评估体系, 着重分析和研究同一层次中各指标的权重求解问题。在权重求解的过程中, 考虑了多专家形成判断矩阵的差异性, 用改进的德尔菲法解决了这一问题。建立的评估体系能比较好地运用到城市电网评估中, 具有较好的理论和现实意义。

关键词: 现状网评估; 层次分析法; 判断矩阵; 权重

The research on the evaluation system for existing network based on analytic hierarchy process and Delphi method

LI Xiao-hui¹, ZHANG Lai¹, LI Xiao-yu², CHEN Zhu²

(1. Tianjin Electric Power Corporation Technology Center, Tianjin 300022, China;

2. TD Qiushi Electric Power High Technology Co., Ltd, Tianjin 300384, China)

Abstract: The evaluation for existing network plays an important guiding part in power grid construction and renovation. But existing methods focus on the evaluation of individual projects and do not form systematic evaluation of the programs. This paper makes use of AHP and Delphi methods for the assessment of network status, and establishes the evaluation grid structure for high-voltage and medium-voltage network. Analysis and research are focused on the same floor of the various indicators for weight problems. During the weight solution process, this paper considers a number of experts formed to judge the different matrixes, and improved Delphi is used to solve the problem. The evaluation system can be better applied in cities' network assessment, and has relatively good academic and practical sense.

Key words: evaluation for existing network; AHP; judgment matrix; weight

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)14-0057-05

0 引言

目前, 城市电网规划理论逐步发展与推广应用, 使得电网建设的远期方案得以确定, 然而电网近期建设改造项目仍然缺乏较为具体的目标^[1]。传统的电网建设项目评价手段为可行性研究, 侧重于对单个项目进行评价, 而实际中往往是成批项目共同发挥作用。电网建设改造优先级难以确定, 造成巨大的资金浪费, 每年改造后的电网仍然存在很多问题, 不能很好地满足广大用户的要求。形成这种局面的一个主要原因是缺乏系统、科学的电网分析评估方法和决策工具, 对电网现存的和即将出现的问题不能定量给出问题的严重程度与问题出现的具体位置。此外, 传统的配电网评估工作主要是对供

电可靠性、供电安全性和供电质量等方面的单项评估, 这些工作可以从不同侧面、在不同程度上评价配电网的技术水平, 但缺乏整体性评价, 对电网建设的直接指导作用不强^[2,3]。

本文提出一种新的可以对现状电网整体状况进行量化评估的系统方法——现状电网综合指标评估体系, 该体系基于层次分析法(AHP)和德尔菲法(Delphi)^[4], 可以对现状电网的综合指标进行评价, 以期更加科学有效地分析现状电网, 指导电网建设改造。将该综合体系应用于天津滨海新区现状电网的评估, 取得了较好的评估效果。

1 理论基础

1.1 德尔菲法

德尔菲法(Delphi)主要是由调查者拟定调查

基金项目: 天津市电力公司科技项目(KJ06-4-04 滨海新区配电网规划关键问题研究)

表,按照既定程序,以函件的方式分别向专家组成员进行征询,而专家组成员又以匿名的方式(函件)提交意见,然后对征集的专家意见进行整理、归纳、统计;再匿名反馈给各专家,再次征求意见,再集中,再反馈,直至得到稳定的意见。

经过数次反复征询和反馈,专家组成员的意见逐步趋于集中,最后获得具有很高准确率的集体判断结果。Delphi 是一种利用函询形式的集体匿名思想交流过程,其有区别于其它专家预测方法的三个明显的特点,即匿名性、多次反馈、小组的统计回答。

首先,将本领域专家给出的评分 a_i 和参与专家人数 m 的加权平均进行计算,得到专家评分的期望值 E 。

$$E = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i \quad (1)$$

结合专家意见离散度 δ , 按照式(2)计算标准差。

$$\delta^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (a_i - E)^2 \quad (2)$$

在具体应用上述判据时,根据具体问题的特点,设定停止征询的离散度控制指标 δ_0 , 当第 i 次的相关计算值 δ_i 满足式(3)时结束,否则进行下一轮的征询。

$$\delta_i < \delta_0 \quad (3)$$

1.2 层次分析法

1.2.1 层次分析法的基本思想

层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process) 是一种实用的在决策过程中对非定量事件做定量分析、对主观判断做客观分析的多方案或多目标的决策方法。它将决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析。

AHP 的思想是首先通过建立清晰的层次结构来分解复杂问题,其次引入测度理论,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^[5],然后求解判断矩阵的权重,最后计算方案的综合权重。清晰的层次结构是 AHP 分解简化综合复杂问题的关键,在此基础上确定的属性权重反映了同层指标间的重要程度。

基于 AHP 的综合评判决策包括以下步骤:

- (1) 建立层次结构;
- (2) 建立方案属性决策表;
- (3) 形成判断矩阵;

(4) 判断矩阵一致性校验;

(5) 判断矩阵权重求解;

(6) 综合权重计算和排序。

1.2.2 构造判断矩阵与确定权重的方法

判断矩阵的构造与权重的确定,是层次分析法应用于评估体系的关键。目前,不少学者对上述问题进行了分析研究^[6]。本文结合现状电网综合评估体系的建立,将判断矩阵构造和权重求解的步骤分为以下几个部分:

(1) 把问题进行分解组合,建立递阶层次结构,清楚地表明各层次之间的关系。

(2) 用三标度法来对同一层元素进行两两比较,建立比较矩阵 A 。

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} & c_1 & c_2 & \cdots & c_n \\ c_1 & a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ c_2 & a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ c_n & a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

采用三标度法,可以得到:

$$a_{ij} = \begin{cases} 2, & c_i \text{ 比 } c_j \text{ 重要} \\ 1, & c_i \text{ 与 } c_j \text{ 同等重要} \\ 0, & c_j \text{ 比 } c_i \text{ 重要} \end{cases} \quad (5)$$

(3) 计算出比较矩阵各元素重要性的排序指数,将比较矩阵转化为判断矩阵。构造判断矩阵的方法包括极差法或极比法。

1) 用极差法构造判断矩阵:

$$f(r_i, r_j) = c_b^{(r_i - r_j)/R} = c_{ij} \quad (6)$$

式(6)中, r_i 是矩阵 A 每行元素之和; c_b 为一常量,是按某种标准预先给定的极差元素对的相对重要程度(一般在实践中常取 $c_b = 9$);

$R = r_{\max} - r_{\min}$, 称为极差, $r_{\max} = \max\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, $r_{\min} = \min\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ 。

所得的矩阵 $C = (c_{ij})_{n \times n}$ 为一致性判断矩阵。

2) 用极比法构造判断矩阵:

$$f(r_i, r_j) = \left[\frac{r_i}{r_j} \right]^{\log_2 c_b} = c_{ij} \quad (7)$$

式(7)中, $r = \left[\frac{r_{\max}}{r_{\min}} \right]$ 称为极比,所得到的矩

阵 $C = (c_{ij})_{n \times n}$ 为一致性判断矩阵。

(4) 确定各层次中评价指标的相对权重 w_i 。

一般采用特征向量法, 首先求出判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} , 然后再求出最大特征值 λ_{\max} 对应的特征向量 W , 即得到权重向量 (w_1, w_2, \dots, w_n) 。对 W 作归一化处理, 得到某一级各个评价指标关于它上一级指标的相对权重。

$$w_i' = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (8)$$

向量 $W' = [w_1' \ w_2' \ \dots \ w_n']$ 为某一级各个评价指标关于它上一级指标的相对权重。

(5) 进行一致性检验。

计算最大特征值, 并引入相容性指标 CI 检验判断矩阵的一致性, 其中:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (9)$$

一般当 $CI < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性可以接受; 当 $CI \geq 0.1$ 时, 应重新对判断矩阵作适当修改, 再对改正后的矩阵重新计算权重和进行一致性检验。

1.3 改进的权重确定方法

上面所述仅是单一专家关于层次结构同层之间的权重值求解, 在实际的工程项目中, 单一专家的方法往往受到各方面因素的影响, 难以准确地反映实际情况, 同时不同专家的判断矩阵由于可信度不同而对最终判断矩阵的影响不同。采用在前面提到的德尔菲法 (Delphi) 来解决上面提到的问题。注意到利用德尔菲法, 将使各位专家的意见等同对待, 难以体现专家的差异性。本文采用下面的方法改进这点不足。

对同一层指标形成的判断矩阵而言, 假设共有 m 位专家参加决策, 并形成自己的判断矩阵, 设专家 k 做出的判断矩阵的权重向量记作:

$$w^{(k)} = (w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_n^{(k)}), \quad k=1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$\text{令 } S_{ij} = \cos(\theta_{ij}) = \frac{w^{(i)} \cdot w^{(j)}}{|w^{(i)}| |w^{(j)}|} \quad (11)$$

式 (11) 中, θ_{ij} 为两向量 $w^{(i)}$ 和 $w^{(j)}$ 之间的夹角, S_{ij} 表示两专家各自判断矩阵 $A^{(i)}$ 和 $A^{(j)}$ 之间的一致性。可知, S_{ij} 越大, 两判断矩阵之间的一致性越高。

$$S_i = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1, j \neq i}^m S_{ij} \quad (12)$$

式 (12) 中, S_i 表示的是第 i 个专家判断矩阵的平均一致性, 即第 i 个专家与所有其它专家的一致度之和的平均值。接下来将所有专家的平均一致性归一化, 得到专家判断矩阵的相对一致性。第 i 个专家判断矩阵的相对一致性的定义如式 (13) 所示:

$$S_i' = S_i / \sum_{i=1}^m S_i \quad (13)$$

第 i 个专家判断矩阵的相对一致性反映了其与其他专家判断矩阵的一致程度, 即是否能代表大多数专家的意见。根据上面的理论, 对德尔菲法进行改进, 改进后权重向量的表达式如下:

$$W = \sum_{i=1}^m S_i' W^{(i)} \quad (14)$$

可以看出, 改进后对不同专家得到的权重值区别对待, 考虑了不同专家形成判断矩阵时有关因素的影响, 克服了先前德尔菲法在这点上的不足。将它用于权重的修订能取得比较好的效果, 并能减少迭代次数。

2 现状电网综合评估体系的建立

2.1 评估体系建立流程

应用 Delphi 法和 AHP 法构建现状电网综合评价体系的基本流程如图 1 所示。

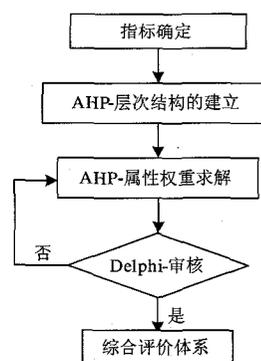


图 1 现状电网综合评价体系建立流程

Fig.1 Status grid establishment of a system of comprehensive evaluation process

2.2 评估体系建立流程

现状电网综合评估需要以科学的系统分析理论为基础, 按照全面、合理、严密的要求, 给出客观的量化分析结果。本文所建立的现状电网综合指标评估体系, 其评估过程主要包括如下五个部分:

1) 基础数据采集校核

数据收集是现状电网评估的第一步,对后续步骤的实施具有相当重要的作用。总体来说,在电网评估过程中,基础数据收集应包括电源情况、电网结构、电网设备、运行情况等几个方面。

2) 层次结构建立

AHP 是评估中分析复杂问题建立评价体系的关键技术,其核心思想是通过建立清晰的层次结构来分解复杂问题。本文利用层次分析法的基本思想,结合天津市滨海新区现状电网的实际情况,提出天津市滨海新区高、中压配电网现状评估的评价体系,其层次结构局部分别如图 2、图 3 所示。

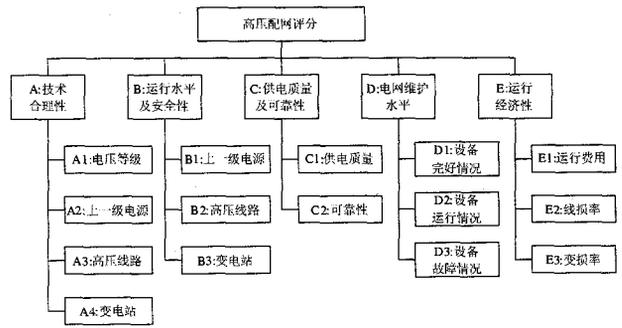


图 2 高压配网的评价体系

Fig.2 High voltage distribution network evaluation system

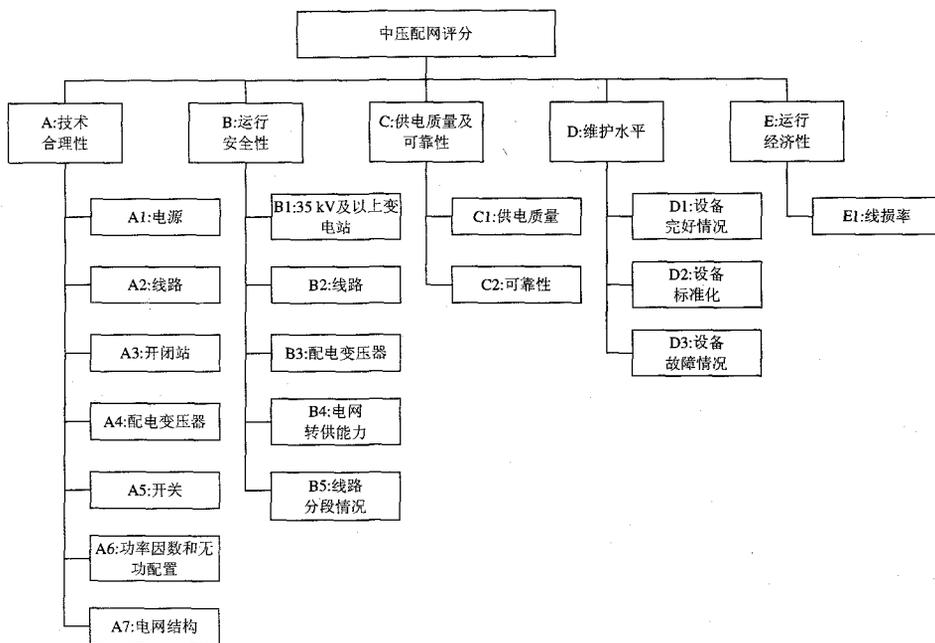


图 3 中压配网的评价体系

Fig.3 Medium voltage distribution network evaluation system

本次研究确定的滨海新区高压配电网评价体系包括 5 个层次, 60 个指标; 中压配电网评价体系包括 5 个层次, 63 个指标。

3) 单项指标计算和评分

滨海新区高中压现状电网综合指标评估体系中,各单项指标计算和评分需要考虑的因素包括各个指标评价标准的确定、各个指标评分标准的确定以及单项指标权重的确定。其中,评价标准主要根据相关导则规定和专家经验进行确定,评分标准需采用德尔菲法结合专家意见进行确定,单项指标权重的确定可利用本文提出的方法计算。

4) 综合评分方法

单项指标评分从不同侧面反映了电网的具体情况,但是不足以说明电网的整体状况。因此,需要

利用 AHP 法逐层向上计算,直到计算得出整个电网的综合评分。计算公式为:

$$s^{(k+1)} = \sum_{j=1}^n s_j^{(k)} w_j^{(k)} \quad (15)$$

式 (15) 中, $s^{(k+1)}$ 代表层次结构中第 $(k+1)$ 层某属性 $A^{(k+1)}$ 的评分; n 表示属性 A^k 的 k 层子属性个数; $s_j^{(k)}$ 表示 $A^{(k+1)}$ 的 k 层子属性 j 的评分; $w_j^{(k)}$ 表示子属性 j 的权重。

5) 问题分析

本次研究提出的现状电网综合指标评估体系,采用点面结合的问题综合分析方法,在对单项指标进行计算的过程中,通过评价数据自动辨识电网是否存在问题,并对存在的问题记录其详细信息。在

应用层次分析法计算综合评分的同时, 电网存在的问题也得到分层统计, 并可给出问题严重性的排序, 为电网的近期建设和改造提供理论依据。

3 实例分析

运用本文提出的方法, 进行各层指标权重值求解的实例分析。限于篇幅, 仅就高压电网评估体系中第一层的权重求解过程进行说明。该层指标分别为技术合理性 c_1 、运行水平及安全性 c_2 、供电质量及可靠性 c_3 、电网维护水平 c_4 和运行经济性 c_5 。

1) 建立比较矩阵

针对五个层次指标, 结合专家意见, 利用三标度建立比较矩阵:

$$A=(a_{ij}) = \begin{bmatrix} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 \\ c_1 & 1 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ c_2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ c_3 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ c_4 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ c_5 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 利用极差法构造判断矩阵

$$C=(c_{ij}) = \begin{bmatrix} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & M_i & W_i & \tilde{W}_i \\ c_1 & 1 & 0.4808 & 4.327 & 4.327 & 4.327 & 38.95 & 2.08 & 0.265 \\ c_2 & 2.08 & 1 & 9 & 9 & 9 & 1516.32 & 4.327 & 0.551 \\ c_3 & 0.2311 & 0.1111 & 1 & 1 & 1 & 0.0257 & 0.4808 & 0.0613 \\ c_4 & 0.2311 & 0.1111 & 1 & 1 & 1 & 0.0257 & 0.4808 & 0.0613 \\ c_5 & 0.2311 & 0.1111 & 1 & 1 & 1 & 0.0257 & 0.4808 & 0.0613 \end{bmatrix}$$

式中: $M_i = \prod_{j=1}^5 c_{ij}$, $W_i = \sqrt[5]{M_i}$, $\tilde{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^5 W_i}$

3) 进行一致性检验

设 $D=(d_{ij})_{n \times n} = C \cdot \tilde{W}_i^T = (1.3256 \ 2.7573 \ 0.3064 \ 0.3064 \ 0.3064)^T$

则最大特征值为:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^5 \frac{d_i}{nW_i} = \frac{1}{5} \left[\frac{1.3256}{0.265} + \frac{2.7573}{0.551} + \frac{0.3064}{0.0613} + \frac{0.3064}{0.0613} + \frac{0.3064}{0.0613} \right]$$

相容性指标 $CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} < 0.001$, 可知一致性条件满足。所以一位专家的求解权重结果为

$$\tilde{W}_i = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.265, 0.551, 0.0613, 0.0613, 0.0613)$$

在本文中共有三位专家参与了求解权重, 其余两位专家就这一层的权重求解结果分为:

$$\tilde{W}_i^{(2)} = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.278, 0.501, 0.0737, 0.0737, 0.0737)$$

$$\tilde{W}_i^{(3)} = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.294, 0.493, 0.071, 0.071, 0.071)$$

根据三位专家的权重值可求出对应的 S_i , 最后得到这一层的权重值:

$$W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.28, 0.53, 0.063, 0.063, 0.063)$$

同理, 反复进行上述步骤, 求出其它层各属性的权重值, 即可建立完整的天津滨海地区高压电网的评价结构。

4 结论

本文将层次分析法和德尔菲法用于现状电网的评估中, 并建立了天津滨海新区电网的评价结构, 比较全面地反映电网评价指标的各方面属性。在权重求解中, 本文方法所形成的判断矩阵有别于一般层次分析法利用 1-9 标度形成的判断矩阵, 它在收敛速度、满足一致性等方面具有更好的效果。在权重求解的过程中, 考虑多专家形成判断矩阵的差异性, 不等对待每位专家得到的初始权重值, 而是加入相应的系数, 即用改进的德尔菲法解决了差异性的问题。本文建立的评价体系能比较好地运用到滨海新区的电网评估中, 具有较高的理论和现实意义。

参考文献

- [1] 舒康, 梁镇韩. AHP 中的指数标度法[J]. 系统工程理论与实践, 1990, (1): 6-8.
SHU Kang, LIANG Zhen-han. AHP's Index Scaling Law [J]. Engineering Theory and Practice, 1990, (1): 6-8.
- [2] 肖峻. 城市电网规划计算机辅助决策新技术的研究与实现[M]. 天津: 天津大学出版社, 2003.
XIAO Jun. City Power Network Planning of New Technology and Implementation[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2003.
- [3] 陈光大, 廖明海. 一致性指标临界值的改进[J]. 系统工程理论与实践, 1993, 13 (1): 67-72.
CHEN Guang-da, LIAO Ming-hai. Consistency of the Critical Value of the Indicators Improved [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 1993, 13(1):67-72.
- [4] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
WANG Lian-fen, XU Shu-bo. AHP Introduction[M]. Beijing: Chinese People's University Press, 1990.
- [5] 左军. 层次分析法中判断矩阵的间接给出法[J]. 系统工程, 1988, (6).
ZUO Jun. AHP Judgment Matrix in the Indirect Method[J]. Systems Engineering, 1988, (6).
- [6] 徐泽水. 层次分析中构造判断矩阵的新方法[J]. 系统工程, 1997, (增刊).
XU Ze-shui. AHP Judgment Matrix Construct a New Method[J]. Systems Engineering, 1997, (S).

收稿日期: 2007-10-29; 修回日期: 2007-11-29

作者简介:

李晓辉 (1973-), 男, 高工, 目前主要从事电力系统分析、配电网规划和电能质量管理技术等方面的研究。

E-mail: Xiaohui.li@tepco.com.cn