

Delphi 和 AHP 集成的火电建设工程 模糊综合评价方法

陈坚红¹, 盛德仁¹, 李 蔚¹, 孟 炜²

(1. 浙江大学 电厂热能动力及自动化研究所, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江省电力开发公司, 浙江 杭州 310005)

摘 要: 根据系统工程的原理, 通过专家论证法和德尔菲法构建火电建设工程的多层次综合评价指标体系; 应用层次分析法, 建立较为完善的火电建设工程综合评价模型和方法, 确定火电建设工程综合评价的程序和方法。实际案例计算表明, 应用多层次指标体系和多目标综合后评价方法, 可以将影响火电建设工程诸多因素定量表达出来, 从而确保工程项目后评价的客观性和准确性。本文在火电建设工程的多层次综合评价指标体系的建立、指标权重的确定及模糊综合评价模型的建立等方面进行了探索。

关 键 词: 火电建设工程; 德尔菲法; 层次分析法(AHP); 指标体系

中图分类号: F407 文献标识码: A

1 引 言

火电建设工程项目的后评价, 是火电建设工程项目管理工作中一个不可缺少的重要环节。项目后评价最先由世界银行提出, 开始时仅仅是对项目完成后的总结, 通过一些项目的实践, 逐步扩展成为后评价。进行火电厂工程项目的后评价的目的是为了从已完成的火电建设工程项目中总结经验教训, 以利完善已建项目, 指导在建项目, 改进待建项目, 达到提高投资决策水平的目的。

为此, 本文根据火电建设工程的特点和我国国情, 确定了火电建设工程的综合评价指标体系, 提出一套较完整的综合评价模型和方法, 并结合例子给出了计算实例。

2 构建综合评价指标体系

2.1 指标体系的确定

通过系统分析, 初步拟出评价指标体系之后, 应进一步征询领域专家的意见, 对指标体系进行筛选、修改和完善。通常用德尔菲法, 即运用领域专家的

知识、智慧、经验、信息和专家的价值观, 对初步拟出的评价指标体系进行匿名评议打分, 提出修改意见。

首先把初步拟出的评价指标体系表和对指标的说明, 以及编制的《指标重要度咨询表》(略), 以信函形式发给各位领域专家, 请领域专家按规定的方式发表意见, 并事先规定指标重要度的级数和每级的量值。一般将重要度分为五级, 五级的量值分别取 1、2、3、4、5, 量值越小越重要。专家可根据对指标重要度的认识, 在咨询表相应位置上画“√”。

设拟定出的指标体系中某层次有 M 个指标, 请 P 位领域专家评议。统计领域专家对每个指标意见的集中度和离散度。

领域专家意见集中度定义为:

$$E_i = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^N E_j n_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

领域专家意见离散度可用标准差 σ_i 计算:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{j=1}^N n_{ij} (E_j - E_i)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (2)$$

式中: N 为事先规定的指标重要度的级数, 通常可分为五级; E_j 为指标第 j 级重要度的量值; n_{ij} 为对第 i 个指标为第 j 级重要程度的领域专家人数。

鉴于火电建设工程的特点, 以 $E_i \leq 3$, $\sigma_i \leq 0.63$ 为判据, 满足条件的各指标进入火电建设工程综合评价指标体系(见图 1)。

2.2 指标权重的确定

为提高综合评价的可信度, 正确地确定各指标的权重是非常重要的。确定权重的方法很多, 常用的有德尔菲法、层次分析法、因子分析法等。根据火电建设工程综合评价指标体系的特点, 采用层次分析法确定指标权重。

对于如图 1 所示的综合分析层次结构模型, 最顶层为 A —火电建设工程综合评价指标体系, 只有一个元素; 接下来为 B 层, 有四个元素; 最底层为 C 。

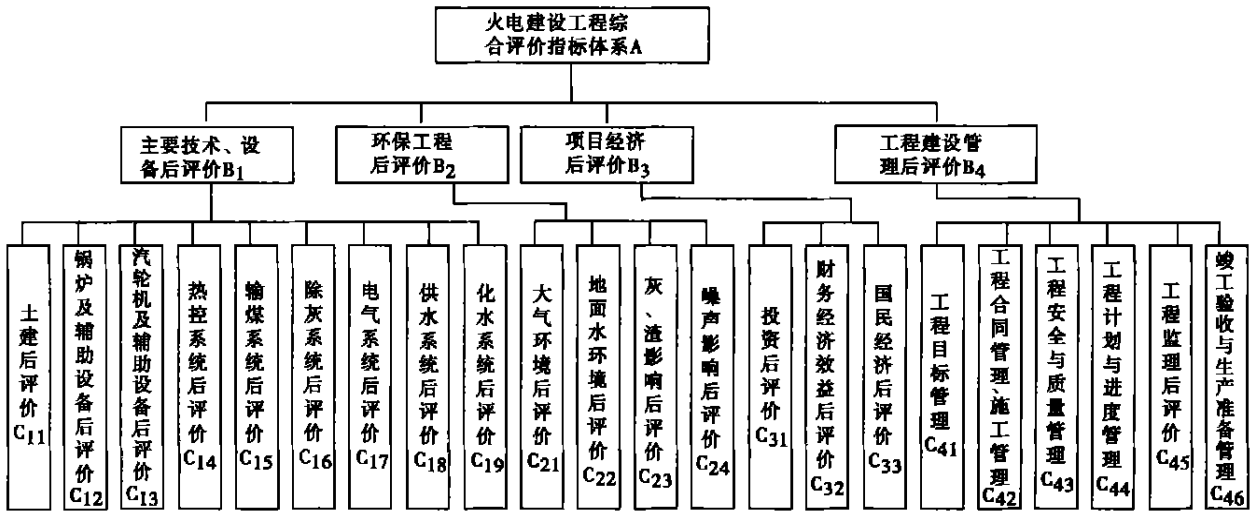


图 1 火电建设工程综合评价指标体系

不失一般性, 设 B 层次有 n 个元素 $B_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 其模糊决策的求解过程如下所述。

2.2.1 判断尺度

重要程度用要素间重要性的数量尺度——判断尺度表示。一般采用 1—9 级判断尺度, 如表 1 所示。

表 1 1—9 级判断尺度表

判断尺度(因素 B_i, B_j 相比较的重要程度等级)	定义
1	对上一级而言, B_i 和 B_j 同样的重要
3	对上一级而言, B_i 比 B_j 稍微重要
5	对上一级而言, B_i 比 B_j 重要
7	对上一级而言, B_i 比 B_j 重要得多
9	对上一级而言, B_i 比 B_j 绝对重要
2, 4, 6, 8	其重要程度介于上述两相邻判断尺度之间

2.2.2 构造判断矩阵

判断矩阵是将层次结构模型中同一层次的要素相对于上层的某个因素, 根据重要程度相互间进行成对比较而形成的矩阵。例如以 A 为目标的有 n 个要素的判断矩阵, 形式如式(3):

$$A = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} = [b_{ij}]_{n \times n} \quad (3)$$

判断矩阵 A 中的元素 b_{ij} 表示对于评价目标 A 而言, 要素 B_i 对于 B_j 的相对重要性。即: $b_{ij} = W_i / W_j$, W_i 是针对评价对象给出的每个因素 B_i 相对应于 A 的分值, 由聘请专家打分而得。矩阵 A 中的元素满足

$$b_{ij} = 1 / b_{ji}.$$

2.2.3 计算权重

这里的权重是指下层因素对上层因素的影响程度, 使用方根法计算。

$A = [b_{ij}]_{n \times n}$ 中每行所有元素的几何平均值得到向量 $M = [m_1, m_2, \dots, m_n]^T$, 其中:

$$m_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

对 M 作归一化处理, 求相对权重向量:

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_n]^T$$

其中: $W_i = m_i / \sum_{j=1}^n m_j$ (5)

人们对复杂的问题涉及的因素进行两两比较时, 不可能做到判断完全精确, 有时会有误差甚至自相矛盾, 判断阶数越高, 判断难度越大, 偏差也将增大。因此, 引入衡量判断矩阵一致性指标 CI :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

式中: λ 为矩阵 A 的特征值, $\lambda_{\max} = \max(\lambda_i), (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

3 模糊综合评价模型

工程项目综合评价指标体系中, 往往含有一些模糊指标或灰色指标。这些指标的标值概念与确定性定量指标不同, 它们的指标值不能用单一数值描述。对于指标的标值的广义概念是, 指标按评价等级集得到的评价结果而构成的向量称为该指标的标值。指标向量中每一元素(分量)称为该指标的隶属度。由指标向量构成的矩阵称为模糊评价矩阵, 矩阵

中每一元素称为隶属度。

由专家群体判断任一指标 $u_i \in U(U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\})$ 所属的等级, 然后统计每一指标 u_i 隶属于等级 $v_j \in V(V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\})$ 的频数, 各频数与专家总数的比值, 作为各指标的隶属度, 由此得到各指标的模糊评价向量:

$$R_{li} = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ij}, r_{im}) \quad (7)$$

式中: R_{li} 为 V 上的模糊子集。同样得到所有指标的模糊评价向量, 于是得出子目标的模糊评价矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} R_{l1} \\ R_{l2} \\ \vdots \\ R_{li} \\ R_{ln} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nj} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

由权重向量 A_1 与单因素模糊评价矩阵 R_1 , 通过模糊矩阵合并运算, 得到子目标的综合评价矩阵 B_1

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = (b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1m}) \quad (9)$$

式中: “ \circ ” 为广义模糊乘, 通常多采用普通矩阵乘法规则运算。如果需要分析某因素的作用, 考察 B_1 即可。

由子目标综合评价矩阵 B_1 构造子目标层的单因素模糊评价矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

计算综合评价指标体系最高层 A 的综合评价结果。若已知子目标层的权重 W , 则综合评价结果为:

$$A = W \circ R = (w_1, w_2, \dots, w_n) \circ$$

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} = (a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (11)$$

对综合评价结果 A , 一般可用最大隶属度原则确定评价所属的等级, 如 $a_k = \max(a_1, a_2, \dots, a_m)$, 则该火电建设工程属于 K 级标准。

4 火电建设工程综合评价实例

如图 1 所示的火电建设工程综合评价指标体系

中, 按以上所述的模型和方法计算, 得到权重向量结果如表 2 所示。

表 2 权重向量计算结果

各层次权重向量	权重向量
W	$[0.571, 0.143, 0.143, 0.143]^T$
W_{B1}	$[0.058\ 83, 0.176\ 5, 0.176\ 5, 0.176\ 5, 0.058\ 83, 0.058\ 83, 0.176\ 5, 0.058\ 83, 0.058\ 83]^T$
W_{B2}	$[0.307\ 7, 0.307\ 7, 0.307\ 7, 0.076\ 94]^T$
W_{B3}	$[0.428\ 6, 0.142\ 9, 0.428\ 6]^T$
W_{B4}	$[0.25, 0.25, 0.25, 0.083\ 34, 0.083\ 34, 0.083\ 34]^T$

同样可得各层次及综合评价结果, 如表 3 所示。

表 3 各层次及综合评价结果

各子目标	各子目标评价的计算结果	评价结果
主要技术、设备后评价	$[0.215\ 7, 0.483\ 7, 0.281\ 1, 0.019\ 6, 0]$	较好
环保工程后评价	$[0.145\ 3, 0.324\ 8, 0.384\ 6, 0.145\ 3, 0]$	一般
项目经济后评价	$[0.396\ 9, 0.444\ 5, 0.158\ 7, 0, 0]$	较好
工程建设管理后评价	$[0.25, 0.398\ 2, 0.333\ 3, 0.018\ 5, 0]$	较好
综合评价	$[0.236\ 4, 0.443\ 1, 0.285\ 9, 0.034\ 6, 0]$	较好

5 结束语

特别要指出的是: 火电建设工程的综合评价并不等于工程验收。工程验收是针对工程的设计、施工进行综合性的验收, 达到国家规范或标准后给予一种认可, 验收的结果是达到或达不到、通过或通不过; 而火电建设工程的综合评价是对火电建设工程进行综合评判, 评价的结果是对火电建设工程的总体评分, 是一个量化的结果。本文的研究不但有助于系统分析火电建设工程的各个子系统, 而且在研究中用量化的方法确定的指标综合评价体系与综合评价模型, 为火电建设工程的设计规划和建设等决策者提供了评价火电建设工程较为科学、系统的基准。这是火电建设工程项目后评价在理论方法上的一个有益的新探索, 它对本领域的专家及评价者的经验和智慧进行综合分析集成, 克服了以前主要以定性描述为主, 评价内容只进行评价分析而未进行综合评价分析集成的不足, 将“定性指标科学地量化”是系统模糊综合评价方法与其它评价方法相比最具特色之处, 它还具有理论与经验互补, 可操作性强的特点。同时, 这种方法既可对单目标项目进行评价, 也可以对多目标项目进行评价, 适应性强, 可推广到除火电建设工程项目以外的其它项目的评价。另外, 这种模糊综合评价方法与模型对火电建设工程或其它项目的可行性研究和前期评价同样也

单元初始烟效率和烟流价值分布

杨 昭, 刘 斌, 李 汛

(天津大学热能研究所, 天津 300072)

摘 要: 分析了烟的不等价性, 在此基础上提出了烟弹性系数、初始烟损耗率等概念。以烟弹性系数为计算基础, 分析了在单一系统内各组元烟效率对整个系统烟效率的影响, 导出了初始烟损耗率的计算方法, 并以实例进行了分析计算。分析表明: 系统内各组元的单位烟所消耗的初始烟更能反映系统各组元的烟耗特性, 从而有利于更科学地分析系统各单元的节能潜力。

关 键 词: 烟; 弹性系数; 烟流分布

中图分类号: TK11.5 文献标识码: A

1 概 述

烟的直接提出是因为不同能量形式的不等价性, 即“能质”问题。在以热力学第一定律为理论基础的能量分析系统中, 只考虑了整个系统的能量平衡, 其分析结果不能真正反应热力系统内各设备的热力完善性和系统的节能效果。热力学第二定律认为系统能量在转换过程中受到熵增的影响, 能量的质量下降。为了实现不同能量的科学比较性, 国内外学者提出了烟的概念。然而在单一热力系统中, 由于终端使用目的不同, 系统各个组元部分的烟是不是具有同样的价值? 这一个问题值得商讨。不过问题

在这里提出, 并不影响烟作为评价能量标准的统一性和有效性。

目前国内外烟经济分析的研究主要体现在深层次, 更具体化的烟定义、烟计算、系统烟的结构化分析、不同热力过程系统烟分析^[1~4]。文献[5]提出过烟的不等价性的概念。在这些研究中, 集中体现的是系统内各组元的烟转换效率和各组元的热力学完善性。为进一步研究系统各组元烟损耗对整个系统热力学完善性的影响, 本文在这些研究的基础上, 提出烟弹性系数及初始烟损率的概念, 并提出应结合系统内各组元的烟效率和终端使用目的, 来评价系统过程中各组元真实的烟损耗。

2 烟的不等价性分析

2.1 数学分析

本文以一串联的烟流系统为例来分析烟的不等价性分析。

从烟和焓的总量平衡出发, 建立平衡式:

$$Ex = Ex_i + \sum_{j=1}^i An_j \quad (1)$$

收稿日期: 2001-08-23; 修订日期: 2003-03-31

基金项目: 天津市科技发展基金资助项目(23100411); 国家 985 学科建设基金资助项目(X03140)

作者简介: 杨 昭(1960-), 女, 河北大成人, 天津大学教授, 博士生导师。

是适用的。

参考文献:

[1] KAMAL M. Al-Harbi. application of the AHP in project management [J]. *International Journal of Project Management* 2001, 19: 19-27.
[2] 卢志刚, 张 炜, 王新华, 等. 多目标多层次模糊综合评价在电力企业运营状况评价中的应用[J]. *电网技术*, 2002 26(2): 54-

[3] 黄 琦, 庞昊勇. 火电厂建设项目后评价指标体系及其内容构建[J]. *太原理工大学学报*, 1998 29(5): 492-495 554.
[4] 任浩仁, 陈坚红, 盛德仁. 萧山发电厂工程后评价[R]. 杭州: 浙江大学, 1996.
[5] 任浩仁, 盛德仁, 陈坚红. 嘉兴发电厂工程后评价[R]. 杭州: 浙江大学, 1997.
[6] 任浩仁, 胡美丽, 陈坚红, 等. 北仑发电厂工程后评价[R]. 杭州: 浙江大学, 1995.

自动同步离合器棘轮棘爪碰撞问题的讨论 = **Some Observations Concerning the Collision of Ratchet and Pawl in an Automatic Synchronizing Clutch** [刊, 汉] / SONG Cheng-jun, WEI Jun-bo, HUO Zhao-bo (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), GONG Li-xin (Luoyang North Yichu Motor Car Co. Ltd., Luoyang, China, Post Code: 471031) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 301 ~ 303

A dynamics simulation model for the ratchet/pawl mechanism of an automatic synchronizing clutch was set up with the help of ADAMS dynamics analysis software. A dynamics analysis was conducted of the collision of ratchet and pawl along with a discussion from a theoretical perspective. **Key words:** ratchet/pawl mechanism, collision force, automatic synchronizing clutch, differential angular speed

Delphi 和 AHP 集成的火电建设工程模糊综合评价方法 = **Fuzzy and Comprehensive Evaluation Method for a Thermal Power Plant Construction Project by the Integration of Delphi Method and AHP (Analytical Hierarchy Process)** [刊, 汉] / CHEN Jian-hong, SHENG De-ren, LI Wei (Institute of Power Plant Thermal Energy Engineering and Automation under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027), MENG Wei (Zhejiang Provincial Electric Power Development Co., Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 304 ~ 307

Based on the principles of system engineering, through an argumentation performed by experts and with the use of Delphi method the authors have set up a multi-hierarchy comprehensive-evaluation index system for thermal power plant construction projects. With the help of an analytical hierarchy process established was a relatively consummate evaluation model and method for the above-cited projects, and the procedures and method for project comprehensive evaluation were also determined. The calculation results of some actual cases indicate that the evaluation method based on a multi-hierarchy index system and multi-objective synthesis makes it possible to quantitatively address many influencing factors involved in a thermal power plant construction project, thereby ensuring the objectivity and precision of project evaluation. The authors have also explored the following items: the establishment of an index system for the multi-hierarchy comprehensive evaluation of thermal power plant construction projects, the determination of index weights and the creation of a fuzzy comprehensive evaluation model, etc. **Key words:** thermal power plant construction project, Delphi method, analytical hierarchy process, index system

单元初始火用效率和火用流价值分布 = **Efficiency of Unitary Primary Exergy and Distribution of Exergy Flow Values** [刊, 汉] / YANG Zhao, LIU Bin, LI Xun (Heat Engineering Institute under the Tianjin University, Tianjin, China, Post Code: 300072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 307 ~ 309

After an analysis of the non-equivalence of exergy the authors put forward a series of concepts, such as exergy elastic factor, primary exergy loss rate, etc. On the basis of the exergy elastic factor analyzed is the influence of exergy efficiency of various constituent elements in an unitary system on the exergy efficiency of the system as a whole. A method for calculating the primary-exergy loss rate is derived and the analytical calculation of a specific case given. The results of the analysis indicate that the primary exergy consumed by the unitary exergy of various constituent elements in the system can truthfully reflect the exergy consumption characteristics of these constituent elements, thus facilitating a scientific analysis of the energy-saving potential of the various constituent elements of the system. **Key words:** exergy, elastic factor exergy flow distribution

折流杆换热器在火力发电厂低压加热器上的应用 = **The Use of a Baffle-rod Heat Exchanger on the Low-pressure Heater of a Thermal Power Plant** [刊, 汉] / HUANG De-bin, DENG Xian-he (Education Ministry Key Lab-