

火电厂综合评估的模糊评价法

靳 涛, 付忠广, 满若岩, 杨勇平

(华北电力大学 电站设备状态监测与控制教育部重点实验室, 北京 102206)

摘 要: 提出一种新的火电厂综合评估方法—模糊综合评价法, 以规避目前对火电厂整体运行情况进行评估时凭经验式计算复杂、客观性较差的缺点, 建立了火电厂综合性能评价指标体系。以 600 MW 机组为主要研究对象, 依据各发电集团 2008 年全年机组运行的相关数据, 用选取的隶属函数建立了模糊综合评判矩阵, 且分别建立了基于直接给出法和专家评议法 (Delphi 法) 的重要程度模糊集, 给出了火电厂综合评估的二层次和二级指标模糊综合评估模型, 并作了对比分析。研究表明, 模糊评判法可以用来评价电厂机组的综合状态、考核机组各项指标的完成情况, 即可用于不同机组在同一特性下进行比较, 还可用于机组间竞赛。

关 键 词: 火电厂; 综合评估; 模糊综合评价; 建模

中图分类号: TK122

文献标识码: A

引 言

火电厂在提高经济性的同时也承担着不可推卸的节能减排的重任^[1], 所以迫切需要建立一套能客观准确地评价发电厂整体运行情况的综合评价系统。目前, 中国电力企业联合会对电厂进行

综合评估时, 使用专家拟定的评分标准和经验式, 对机组的各项指标打分, 但这些经验式计算复杂, 客观性较差, 特别是不能随着国家对电力发展的政策变化而自动调整, 具有一定程度的局限性。因此火电厂需要一套合理可行的评估机制和评估准则, 对机组的整体运行状态进行定性和定量相结合的综合评价, 以考核机组各项指标的完成情况, 或用以机组间竞赛, 从不同角度考察比较机组间或电厂间的运行情况, 促进电力企业间的技术交流, 强化运行、管理人员节能降耗和优化运行的意识。

模糊评价是一种可以对多因素系统建立模型并进行综合评价的方法, 在模糊数学领域有广泛的应用^[2]。但在电力系统的应用很少, 目前只是在锅炉运行经济性评估、烟气脱硫脱氮方案的选择等领域有一些初步的研究^[3-4]。由于电厂综合评估的复杂性和特殊性, 使用该方法建立的机组状态评估模型可以有效地对电厂运行涉及到的多个指标进行多因素综合考察, 为评价机组的整体运行效果提供一个新的评价准则。

1 模糊综合评价基本原理

1.1 模糊综合评价基本思想

模糊综合评判法的基本思想是^[2,5-6]: 首先确定被评判对象的因素 (指标) 集和评价集, 再分别确定各个因素的权重及它们的隶属度向量, 获得模糊评判矩阵。最后把模糊评判矩阵与因素的权重集进行模糊运算并进行归一化, 得到模糊评价综合结果。基本步骤为:

设与被评价事物相关的因素有 m 个, 记作 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 称之为因素集, 又设所有可能出现的评语有 n 个, 记作 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 称之为评判集。因素论域 U 和评价论域 V 之间的模糊关系用评价矩阵 R 表示为:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: r_{ij} —从因素 u_i ($i=1, 2, \dots, m$) 确定该事物对评语 v_j ($j=1, 2, \dots, n$) 的隶属度。

收稿日期: 2010-03-23 修订日期: 2010-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50776029)

作者简介: 靳 涛 (1970—), 女, 山西阳高人, 华北电力大学讲师。

$A = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}$ 为 U 上因素重要程度模糊子集, 其中 a_i 为因素 u_i 的重要程度系数。

应用模糊矩阵复合运算得模糊综合评判:

$$B = A * R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (2)$$

式中: $*$ —模糊合成运算时所选用的计算模型; B —综合评价结果, 根据 b_i 的大小即可作出评价, 最大者即为最佳方案。

1.2 二级指标模糊综合评价

当欲评判的系统较复杂或影响因素较多时, 仅由一级模型进行评价效果较差。本研究用二级模型评价, 步骤为:

(1) 从各种不同的角度出发, 选择一些有代表性的模型(如模型 $M(\wedge, \vee)$, 模型 $M(, \circ)$, 模型 $M(\text{乘幂}, \wedge)$ 等) 分别进行一级模糊综合评判, 设所得模糊综合评价集为:

$$\begin{aligned} A_1 R_1 &= B_1 = (b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n}) \\ A_2 R_2 &= B_2 = (b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2n}) \\ &\vdots \\ A_s R_s &= B_s = (b_{s1}, b_{s2}, \dots, b_{sn}) \end{aligned} \quad (3)$$

(2) 记 $U_0 = \{ B_1, B_2, \dots, B_s \}$ 称之为二级评判指标集。设 U_0 的各指标 $B_i (i=1, 2, \dots, s)$ 的权重分配为 $A_0 = (a_1, a_2, \dots, a_s)$

这里 $a_i \geq 0$ 且 $a_1 + a_2 + \dots + a_s = 1$ 以 B_1, B_2, \dots, B_s 构成二级综合评判矩阵:

$$R_0 = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{s1} & b_{s2} & \dots & b_{sn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

(3) 对 A_0 和 R_0 采用加权平均模型 $M(, \circ)$ 进行二级综合评判, 即:

$$B = A_0 \circ R_0 = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

$$b_j = \sum_{i=1}^s a_i \cdot b_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

根据最大隶属度原则, 最大的 b_j 就是最佳评判结果。

1.3 二层次模糊综合评价

当因素集 U 的元素较多时, 每个因素的重要程度系数也就相应较小, 这时系统中事物之间的优劣次序往往难以分开, 得不出有效的评判结果。为此, 可把因素集 U 中的元素按某些属性分成几类, 先对每一类(因素较少)作综合评判, 然后对评判结果进行“类”元素的高层次的综合评判。二层次模糊评价步骤为:

(1) 把因素集 U 划分为几个子集:

$$U = \{ U_1, U_2, \dots, U_N \}$$

(2) 对因素子集 $U_i (i=1, 2, \dots, N)$ 进行一级综合评判, 设 U_i 的模糊综合评价集为:

$$B_i = A_i * R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}), \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

(3) 对 U 进行二级模糊综合评判:

$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 * R_1 \\ A_2 * R_2 \\ \vdots \\ A_N * R_N \end{pmatrix} \quad (7)$$

得二层次的模糊综合评判:

$$B = A * R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (8)$$

最大的 b_j 就是最佳评判结果。

2 火电厂综合评估的模糊评价

2.1 选取模糊评价对象集

为验证该研究方法的有效性, 评价对象集取为 2009 年全国火电大机组竞赛中的 10 台 600 MW 机组, 将厂名隐去, 以编码 P1-P10 代之。建模所用的数据均为各发电集团公司上报的 2008 年度全年机组运行相关数据, 且已经通过中国电力企业联合会审查, 因此得出的综合评判结果具有科学性。

2.2 评价对象因素集选取及子因素组成

燃煤电厂综合评价的评价指标很多, 本研究确定的电厂综合性能评价指标体系有 4 类: 可靠性指标、经济性指标、技术监督指标、主要运行小指标。4 类指标各有子指标, 各指标的子指标值如表 1~表 4 所示。

表 1 可靠性指标的子指标值 (%)

对象	等效可用系数	运行暴露率	等效强迫停运率	调峰系数
P1	99.87	91.47	0.14	0.6537
P2	92.07	99.29	1.33	0.77
P3	99.27	96.93	0.14	0.76
P4	85.77	96.64	1.98	0.84
P5	95.75	64.26	0	0.77
P6	99.03	88.79	0	0.75
P7	86.28	95.33	0.57	0.767
P8	92.12	98.55	0.83	0.762
P9	91.44	95.37	1.85	0.81
P10	94.77	97.66	0	0.8

表 2 经济性指标的子指标值

对象	负荷系数 /%	厂用电率 /%	供电煤耗 /g·(kW·h) ⁻¹	点火用油 /t	助燃用油 /t	飞灰含碳量 /%	空气预热器漏风率 /%	综合耗水率 /m ³ ·(MW·h) ⁻¹
P1	65.3	8.13	357.34	668	705	6.66	5.89	0.39
P2	77.2	5.57	331.46	114	214	0.96	6.05	0.22
P3	76.3	5.03	325.24	40	45	0.69	5.46	0.31
P4	84.1	6.07	338	761	740	0.08	9.99	3.44
P5	67.2	5.29	320.01	136	188	1.89	5	3.15
P6	75.3	4.39	314.33	143	0	1.24	6.3	0.33
P7	75.5	5.27	323.61	155	0	0.23	4.75	0.35
P8	76.2	5.43	324.19	217	0	0.36	6.6	0.35
P9	81.8	4.25	333.03	174	88	1.47	8.36	0.7
P10	79.8	5.44	316	0	0	0.18	4.98	0.3

表 3 技术监督指标的子指标值 (%)

对象	脱硫系统投入率	脱硝系统投入率	汽水品质合格率	热工保护投入率	继电保护正确动作率
P1	99.21	0	99.1	100	99.1
P2	98.62	0	99.67	99.8	100
P3	100	0	100	100	100
P4	0	0	98.36	100	100
P5	100	0	100	99.2	100
P6	99.32	30	99.7	100	99.8
P7	100	0	100	100	100
P8	99.49	100	100	100	99.5
P9	0	0	100	100	100
P10	96.4	100	99.7	98.5	100

表 4 主要运行小指标的子指标值

对象	高加投入率 /%	真空下降速度 /Pa·min ⁻¹	发电补水率 /%
P1	98.5	87.71	1.08
P2	100	94.28	1.05
P3	100	97.13	0.38
P4	99	94.82	1.41
P5	100	96	1.48
P6	100	94.34	0.89
P7	95	95	1.45
P8	100	95.32	1.45
P9	100	94.69	1.3
P10	99.5	93.21	0.84

2.3 建立隶属函数

隶属函数反映不同评判对象在同一评判因素上的差异, 确定隶属函数的方法有很多, 模糊统计法, DePh法, 相对选择法, 因素加权平均法等。隶属函数的选取要从实际问题出发, 根据评价因素的性质来确定, 通过研究数据的变化趋势, 掌握已知数据的特点, 为数据寻求合理的隶属函数模型。本研究要评价机组状态, 要得到的是对不同机组整体状态定性的评价结果。根据因素集的数据特点, 分别选择偏大型和偏小型两种隶属函数: 厂用电率、供电煤耗、点火用油、综合耗水率等指标选择偏小型隶属函数; 等效可用系数、脱硫系统投入

率、热工保护投入率等选择偏大型隶属函数^[3]。两种隶属函数形式为:

偏小型隶属函数:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & a < x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (9)$$

偏大型隶属函数:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (10)$$

通过判断所参与评判的指标类型, 决定选择的隶属函数形式, 计算出该指标相应的隶属度, 组成单因素评价矩阵。

2.4 确定因素重要程度模糊集
在模糊综合评判中, 因素重

要程度模糊集 A 反映评判对象中不同评判因素间的重要性区别, 直接影响综合评判的结果。本研究采用直接给出法和专家评议法。

2.4.1 直接给出法

由 n 位专家直接给出各因素的重要程度系数值 a_i 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, a_i 表示第 i 位专家对因素 u 给出的重要程度系数值, 然后归一化, 得因素 u 的重要程度系数 a_i 的计算式:

$$a_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

由此得出所要的因素重要程度模糊集为:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (12)$$

2.4.2 专家评议法 (DelPh法)

由专家确定各因素 \$u_i\$ 的重要性序列值 \$[8-9]\$，即多次对各因素重要程度排序，根据所得的顺序评定，编制优先得分表，计算 \$\sum A_i, \sum A_{max}, \sum A_{min}\$ 和级差 \$d = \frac{\sum A_{max} - \sum A_{min}}{q_{max} - q_{min}}\$，因素 \$u_i\$ 的重要程度系数 \$a_i\$ 的计算式为：

\$a_i = \frac{\sum A_i - \sum A_{min}}{d} + 0.1\$ (\$i=1, 2, \dots, m\$)
或 \$a_i = 1 - \frac{\sum A_{max} - \sum A_i}{d}\$ (\$i=1, 2, \dots, m\$) (13)

由此得出所需要的因素重要程度模糊集：

\$A = (a_1, a_2, \dots, a_m)\$ (14)

2.5 二级指标模糊综合评价

根据隶属函数和直接给出法得出 \$R\$ 和 \$A\$ \$R\$ 太大，这里未列出，各数值见二层次评判矩阵。

\$A = (0.053, 0.039, 0.074, 0.047, 0.066, 0.104, 0.129, 0.035, 0.031, 0.026, 0.051, 0.033, 0.062, 0.063, 0.028, 0.037, 0.022, 0.020, 0.046, 0.034)\$

\$B_1 = (0.069, 0.078, 0.069, 0.066, 0.112, 0.129, 0.101, 0.099, 0.104, 0.124)\$

\$B_2 = (0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.927, 0.000, 0.885, 0.000, 0.000)\$

\$B_3 = (0.366, 0.653, 0.821, 0.401, 0.647, 0.817, 0.084, 0.746, 0.601, 0.833)\$

根据各算子的基本特征给出针对 3 个模糊算子的权重集 \$A_0 = (0.25, 0.3, 0.45)\$，最后进行综合评价，选取 \$M(, +)\$ 作为合成算子，得出基于二级指标模糊综合评判的结果为：

\$B = A_0 \cdot R_0 = (0.182, 0.313, 0.389, 0.197, 0.319, 0.678, 0.333, 0.626, 0.296, 0.406)\$

通过对 20 项指标因素集的综合评判可知 \$R_6\$ 的总体指标完成情况在 10 座电厂里占首位，其后依次是 \$R_8, P10, R_3, P7, R_5, P2, R_9, P4, P1\$。

2.6 二层次模糊综合评价

2.6.1 子因素评判

2.6.1.1 可靠性指标的一级评判

根据隶属函数计算得出单因素评判矩阵：

\$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.447 & 0.957 & 0 & 0.708 \\ 0.777 & 1 & 0.933 & 0.924 & 0 \\ 0.929 & 0.328 & 0.929 & 0 & 1 \\ 0 & 0.624 & 0.571 & 1 & 0.624 \\ 0.940 & 0.036 & 0.450 & 0.402 & 0.638 \\ 0.700 & 0.887 & 0.979 & 0.888 & 0.953 \\ 1 & 0.712 & 0.581 & 0.066 & 1 \\ 0.517 & 0.608 & 0.581 & 0.839 & 0.785 \end{bmatrix}\$

由专家评议法得出可靠性指标 4 个子因素的重要程度模糊系数集：

\$A_1 = (1.000, 0.100, 0.931, 0.308)\$

由 \$A_1\$ 可以看出在可靠性指标的 4 个子因素中，等效可用系数最受关注。

采用模型 \$M(\wedge, \vee)\$ 进行模糊综合评判计算：

\$B_1 = A_1 * R_1 = (1.000, 0.447, 0.957, 0.308, 0.931, 0.940, 0.712, 0.581, 0.402, 0.931)\$

由评判结果可知，电厂 1 在可靠性指标完成方面优于其它九座电厂，以下同理。

2.6.1.2 经济性指标的一级评判

\$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.635 & 0.583 & 1 & 0.098 \\ 0 & 0.660 & 0.799 & 0.531 & 0.732 \\ 0 & 0.602 & 0.746 & 0.450 & 0.868 \\ 0.122 & 0.849 & 0.947 & 0 & 0.821 \\ 0.048 & 0.711 & 0.939 & 0 & 0.746 \\ 0 & 0.866 & 0.907 & 1 & 0.725 \\ 0.782 & 0.752 & 0.865 & 0 & 0.952 \\ 0.947 & 1 & 0.921 & 0 & 0.090 \end{bmatrix}\$

\$\begin{bmatrix} 0.533 & 0.543 & 0.578 & 0.876 & 0.770 \\ 0.964 & 0.737 & 0.696 & 1 & 0.693 \\ 1 & 0.784 & 0.771 & 0.565 & 0.961 \\ 0.812 & 0.736 & 0.714 & 0.771 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0.881 & 1 \\ 0.824 & 0.977 & 0.957 & 0.789 & 0.985 \\ 0.704 & 1 & 0.647 & 0.311 & 0.956 \\ 0.966 & 0.960 & 0.960 & 0.851 & 0.975 \end{bmatrix}\$

\$A_2 = (0.813, 0.796, 1.000, 0.643, 0.134, 0.100, 0.474, 0.100)\$

由 \$A_2\$ 可以看出在经济性指标的 8 个子因素中供电煤耗最受重视，其次是负荷系数和厂用电率。

\$B_2 = A_2 * R_2 = (0.474, 0.660, 0.796, 0.813, 0.868, 1.000, 0.784, 0.771, 0.813, 0.961)\$

由评判结果可知，电厂 6 在经济性指标完成方面优于其它 9 座电厂。

2.6.1.3 技术监督指标的一级评判

\$R_3 = \begin{bmatrix} 0.992 & 0.986 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.451 & 0.799 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0.867 & 1 & 1 & 0.467 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.993 & 1 & 0.995 & 0 & 0.964 \\ 0.3 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0.817 & 1 & 1 & 1 & 0.8171 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0.778 & 1 & 0.444 & 1 & 1 \end{bmatrix}\$

\$A_3 = (1.000, 0.752, 0.100, 0.286, 0.224)\$

由 \$A_3\$ 知技术监督指标中，子因素脱硫系统投入率最受关注，这一结论和目前国家不断推进节能减排的大环境十分符合，充分说明了计算结果的可用性。

\$B_3 = (1.323, 1.538, 1.610, 0.510, 1.458, 1.761, 1.610, 2.232, 0.610, 2.022)\$

由评判结果可知，电厂 8 在

技术监督指标完成方面优于其它 9 座电厂。

2.6.1.4 主要运行小指标的一级评判

$$R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0.7 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0 & 0.697 & 1 & 0.755 & 0.880 \\ 0.364 & 0.391 & 1 & 0.064 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0.9 \\ 0.704 & 0.774 & 0.808 & 0.741 & 0.584 \\ 0.536 & 0.027 & 0.027 & 0.164 & 0.582 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = (1.000 \ 0.280 \ 0.100)$$

由 A_4 可知, 在主要运行小指标中, 子因素高加投入率较受专家关注。

$$B_4 = A_4 * R_4 = (0.736 \ 1.234 \ 1.380 \ 1.018 \ 1.246 \ 1.251 \ 0.219 \ 1.229 \ 1.224 \ 1.122)$$

由评判结果可知, 电厂 3 在主要运行小指标完成方面优于其它 9 座电厂。

2.6.2 主因素评判

由以上各子因素评判结果得两层次模糊综合评判矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.447 & 0.957 & 0.308 & 0.931 \\ 0.474 & 0.660 & 0.796 & 0.813 & 0.868 \\ 1.323 & 1.538 & 1.610 & 0.510 & 1.458 \\ 0.736 & 1.234 & 1.380 & 1.018 & 1.246 \\ 0.940 & 0.712 & 0.581 & 0.402 & 0.931 \\ 1.000 & 0.784 & 0.771 & 0.813 & 0.961 \\ 1.761 & 1.610 & 2.232 & 0.610 & 2.022 \\ 1.251 & 0.219 & 1.229 & 1.224 & 1.122 \end{bmatrix}$$

由专家评议得:

$$A = (0.682 \ 1.000 \ 0.312 \ 0.100)$$

从评判结果可以看出, 在被评价的 4 个指标中, 对经济性指标关注程度最大, 可靠性指标、技术监督指标、主要运行小指标分别列第 2、3、4 位。该结果表明大多数专家偏重于经济性指标在机组整体评估中的地位, 机组运行的经济效益仍然是社会最关注的问题。

$$B = A * R = (1.642 \ 1.568$$

2.089 1.284 2.082 2.315 1.794 1.987 1.400 2.339)

通过对 4 项指标因素集的综合评判可知 H0 的总体指标完成情况在十座电厂里占首位, 其后依次是 P6、P3、P5、P8、P7、P1、P2、P9、P4

2.7 评估结果的对比研究

通过对二级指标模糊综合评判和二层次模糊综合评判两种模糊评价的建模方法研究, 得出结果如表 5 所示。

表 5 评价结果对比

二级	二层	竞赛
P6	P10	P10
P8	P6	P6
P10	P3	P3
P3	P5	P8
P7	P8	P5
P5	P7	P7
P2	P1	P2
P9	P2	P1
P4	P9	P9
P1	P4	P4

二层次模糊评判结果与中国电力企业联合会 2009 年举办的全国火电大机组 (600 MW) 级机组竞赛发布的结果十分接近, 证明该建模方法可以有效地对不同电厂、不同机组进行综合评估, 评估的结果具有较高的准确性, 可以用来考核电厂运行状况、开展机组间竞赛。而二级评判的结果和二层次评估的结果有一些差别, 这是建模方法不同所导致的结果, 由于二级指标综合评判没有将众多指标进行分类, 是同时对多项指标进行评估, 其因素重要程度模糊集中各个分量值较小, 在综合评估过程中会缩小各个指标最终计算值之间的差距, 导致结果不准确。

3 结 论

(1) 利用模糊综合评判法对

10 座电厂进行状态评估, 评价结果基本与竞赛结果相符, 验证了算法的有效性。

(2) 当评判对象因素集中子因素个数较多时, 适宜选用多层次模糊综合评判进行建模, 即把子因素按一定特性分出层次, 逐层进行评判, 可得出较精确的评估结果。

(3) 研究表明, 模糊评判法可以用来评价电厂机组的综合状态、考核机组各项指标的完成情况, 同时也可以用来开展机组间竞赛, 评定结果具有一定的现实意义和社会意义。

参考文献:

[1] 李 青, 公维平. 火力发电厂节能和指标管理技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006

[2] ZADEH L. A fuzzy set [J]. Information and Control, 1965 (8): 338-353

[3] 顾煜炯, 董玉亮, 杨 昆. 基于模糊评判和 RCM 分析的发电设备状态综合评价 [J]. 中国电机工程学报, 2004 24(6): 189-194

[4] 陈亚菲, 高 翔. 烟气脱硫技术的模糊综合评判法 [J]. 中国电机工程学报 2004 24(2): 215-220

[5] 陈水利, 李敬功, 王向公. 模糊集理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005

[6] 张 跃. 模糊数学方法及其应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992

[7] 王爱军, 张小桃, 王培红, 等. 电站锅炉运行经济性的模糊综合评判模型 [J]. 电站系统工程, 2001 17(5): 263-265

[8] 于达仁, 胡清华, 鲍 文. 融合粗糙集和模糊聚类的连续数据知识发现 [J]. 中国电机工程学报, 2004 24(6): 205-210

[9] JIANG HUIYUAN, WANG WANXIANG. Application of Principal component analysis in synthetic appraisal for multi-objects decision making [J]. Journal of Wuhan University of Technology 2004 28(3): 467-470

(编辑 何静芳)

火电厂综合评估的模糊评价法 = A Fuzzy Evaluation Method for Comprehensively Evaluating a Thermal Power Plant [刊, 汉] / JIN Tao, FU Zhong-guang, MAN Ruo-yan, et al (Education Ministry Key Laboratory on Power Plant Equipment Condition Monitoring and Control, North China University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(5). — 473 ~ 477

Proposed was a new method for comprehensively evaluating a thermal power plant a fuzzy comprehensive evaluation method to avoid the demerit of a complex calculation and poor objectivity based on empirical formulae when evaluating the overall operation condition of the thermal power plant. In the meantime, an overall performance evaluation index system for thermal power plants was established. With a 600 MW unit serving as a main object of study and according to relevant data of the units of various power generation groups operating in 2008, set up was a fuzzy overall evaluation and judgment matrix by using a subordinate function. In addition, importance degree fuzzy sets based on a directly given method and an expert appraisal method (Delphi method) were established respectively. A two-level and two-grade index fuzzy model for comprehensively evaluating the thermal power plant was given along with a contrast analysis. The research results show that the fuzzy evaluation and judgment method can be used to evaluate the comprehensive state of the units in a thermal power plant, examine the completion condition of various indexes of the units, compare various units under the same characteristics and can be also used for competitions among different units. Key words: thermal power plant, overall evaluation, fuzzy overall evaluation, modeling

燃气轮机燃烧室故障分析及试验研究 = Fault Analysis and Experimental Study of a Gas Turbine Combustor [刊, 汉] / LIMing-jia, LIN Feng (CSIC Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), QIAN Cheng (Zhanjiang Oil Production Service Wenchang Sub-company, CNOOC Energy Source Development Stock Co. Ltd., Zhanjiang, China, Post Code: 524057), HE Wan-guo (Naval Representative Office Resident at Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(5). — 478 ~ 481

According to the similarity criterion for the modeling test of a combustor at an isometric flow rate, experimentally studied was the cause for a fault that cracks emerge in the main combustion holes near the flame tube interconnector of the combustor of a gas turbine and verified was the fact that the thermal stress resulting from an excessively high local temperature on the flame tube is the root cause of the fault. On this basis, a structurally modified design was conducted of the flame tube and nozzles of the combustor. A modeling test of the prototype combustor and modified nozzle as well as the reconstructed flame tube was also performed. The test results show that the modified design of the flame tube and nozzles can reduce the wall surface temperature rise coefficient and its temperature gradient, improve the outlet temperature distribution and fire extinction characteristics. Among others, the maximum wall temperature rise factor can be reduced by 5.3%, its outlet temperature distribution factor from 0.178 to 0.154 and the fire extinguishment oil/gas ratio from 0.003 to 0.001 while the outlet radial temperature distribution characteristics of the combustor and its ignition characteristics in the design startup state remain basically unchanged. Key words: gas turbine, combustor, fault analysis