

电站锅炉安全级别模糊综合评价研究

黄梦婷¹, 蒲伟²

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 昆明理工大学 国土资源学院, 云南 昆明 650033)

摘要: 针对电站锅炉运行及结构特点, 运用模糊综合评价法, 对云南省某火电站锅炉进行安全系统评估。从“人、机、环境、管理”因素综合考虑, 建立电站锅炉综合评价指标体系, 采用层次分析法确定各指标因素的权重值, 建立专家组对该火电站锅炉系统进行综合评判, 通过整理、统计专家评价数据得到模糊评判矩阵, 运用加权平均原则计算得到最终评价结果。研究表明, 模糊综合评价法在电站锅炉安全评价中的应用, 比一般评价方法更具科学性和实用性。

关键词: 电站锅炉; 模糊综合评价; 层次分析法

中图分类号: X928.3

文献标识码: A

Application and research of fuzzy comprehensive evaluation method in security level of power plant boiler

HUANG Meng-ting¹, PU Wei²

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology Kunming, Yunnan Kunming 650033, China)

Abstract: This paper assess a power plant boiler in Yunnan based on the feature of power plant boiler. Considering some factors including man, machine and environment management, Fuzzy Comprehensive Evaluation Method was used to establish comprehensive evaluation system of power plant boiler. the weight value of each index was determined by using AHP, and the expert group was established to comprehensive evaluate of the system power plant boiler. The weighted average principle was used to get the final results of the evaluation. Studies shown that application of fuzzy comprehensive evaluation method in power plant boiler could improve the scientific and practical of safety evaluation.

Key words: power plant boiler; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process

我国火力发电机组正朝着高参数、大容量的方向发展, 电站锅炉的结构变得极为复杂。其主要特点包括: 附属设备多、工作环境恶劣、单位热负荷高、锅炉材质多样、运行参数高等^[1]。针对电站锅炉的安全评价大多是通过安全检查表法、事故树分析法等^[2-3]进行局部的定性、半定量分析。这些方法能找出电站锅炉运行的危险因素, 但不能从整体上对危险因素的分布及权重进行深入的探究, 从而影响评价结果的准确性和系统性。本文结合电站锅炉危险因素模糊性的特点, 应用模糊数学理论, 建立电站锅炉的模糊综合评价模型, 为电力企业的安全分析与风险评价提供依据。

1 评价指标体系和指标权重

建立电站锅炉的评价指标体系, 即找出影响电站锅炉安全运行的各相关要素构成评价要素集, 各要素的重要程度可能不同。一套完整的评价指标体系是全面、不重叠且指标易于取得的^[4], 否则无法对评价对象做出整体判断。

1.1 建立评价指标体系

根据收集的锅炉爆炸事故、缺水事故、结焦事故等锅炉安全事故案例^[5], 在充分分析事故发生的主、客观原因的基础上建立评价指标体系。本

文以云南省某火电站为例,根据企业综合管理状况,全面考虑“人、机、环境、管理”因素,确立电站锅炉的一级评价指标体系为:员工素质、锅炉设备、使用环境、安全管理四大类,分别用 u_1, u_2, u_3, u_4 表示,对各一级评价指标进行分析,建立该电站锅炉的综合评价指标体系见表 1。

表 1 电站锅炉安全评价指标体系

Tab. 1 safety evaluation system of Power plant boiler

一级指标	二级指标
员工素质 u_1	身体素质及技术素质 u_{11}
	安全意识 u_{12}
	文化水平 u_{13}
	思想道德素质 u_{14}
锅炉设备 u_2	汽水系统 u_{21}
	燃烧系统 u_{22}
	给水系统 u_{23}
	通风设备 u_{24}
	除尘系统 u_{25}
使用环境 u_3	负荷状态 u_{31}
	升降压频率 u_{32}
	设备布局 u_{33}
安全管理 u_4	安全教育 u_{41}
	安全管理制度 u_{42}
	安全机构职能 u_{43}
	应急救援措施 u_{44}

1.2 确定评价指标的权重

为了反应各评价指标的重要程度,对各一级指标 u_i 应分配相应的权重值 $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 通常要求 $a_i \geq 0; \sum a_i = 1$, 各子因素 u_{ij} 的权重集合为 $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik})$ $a_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^k a_{ij} = 1$ 根据各个二级评价指标对一级指标的隶属程度来确定各二级指标的权重 $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k)$ 。权重选择的合适与否直接关系到评价模型的成败,确定权重的方法有很多,例如:层次分析法、Delphi 法、专家估计法、加权平均法等^[6]。

根据电站锅炉的结构系统性,本文采用定性与定量分析相结合的层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 来确定指标体系的权重集^[7]。以一级评价指标员工素质为例,影响员工素质的因素包括身体素质及技术素质、安全意识、文化水平、思想道德素质,对 4 种因素进行两两比较,根

据企业提供的数据资料及员工报告,综合分析各因素之间的相对重要程度,从而建立判断矩阵。其权重的详细计算过程如下:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/3 & 3 \\ 4 & 1 & 2 & 5 \\ 3 & 1/2 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{列向量归一化}} \begin{bmatrix} 0.12 & 0.13 & 0.09 & 0.23 \\ 0.48 & 0.51 & 0.56 & 0.38 \\ 0.36 & 0.26 & 0.28 & 0.31 \\ 0.04 & 0.1 & 0.07 & 0.08 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{按行求和}} \begin{bmatrix} 0.57 \\ 1.93 \\ 1.21 \\ 0.29 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{归一化}} \begin{bmatrix} 0.14 \\ 0.48 \\ 0.30 \\ 0.08 \end{bmatrix}$$

对层次分析法计算出来的权重向量进行一致性检验,运用 Matlab 计算得到判断矩阵的最大特征值为 $\lambda_{\max} = 4.115$ 则有 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.115 - 4}{4 - 1} = 0.038$, $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.038}{0.9} = 0.042 < 0.1$ (其中 RI 为平均随机一致性指标,可由表 2 查得^[8]) ,由计算结果可知判断矩阵满足一致性条件。

同理,根据层次分析法计算得各评价指标权重集如下:

- 一级评价指标 $A_0 = (0.18, 0.36, 0.14, 0.32)$ 。
- 员工素质 $A_1 = (0.14, 0.48, 0.30, 0.08)$ 。
- 锅炉设备 $A_2 = (0.31, 0.23, 0.14, 0.25, 0.07)$ 。
- 使用环境 $A_3 = (0.43, 0.37, 0.20)$ 。
- 安全管理 $A_4 = (0.14, 0.28, 0.47, 0.11)$ 。

2 模糊综合评价

2.1 评判集的确

对火电厂锅炉进行模糊综合评价,需先建立评判集和模糊关系矩阵。评判集是对评判对象可能做出的评判结果所组成的集合,可表示为: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ^[9]。专家通过大量锅炉事故调查分析,发现电站锅炉存在的安全隐患比一般企业设备复杂,因此将评语集分为 5 个等级: $V = \{V_1$ (好), V_2 (较好), V_3 (一般), V_4 (差), V_5 (很差)}。

表 2 一致性指标

Tab. 2 Consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

表 3 电站锅炉模糊综合评价打分体系
Tab.3 Fuzzy comprehensive evaluation scoring system Power plant boiler

一级指标	二级指标	好	较好	一般	差	很差
员工素质 u_1	身体素质及技术素质 u_{11}	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1
	安全意识 u_{12}	0.15	0.45	0.2	0.15	0.05
	文化水平 u_{13}	0.1	0.35	0.25	0.2	0.1
	思想道德素质 u_{14}	0.05	0.4	0.25	0.25	0.05
锅炉设备 u_2	汽水系统 u_{21}	0.1	0.55	0.15	0.15	0.05
	燃烧系统 u_{22}	0.05	0.35	0.2	0.25	0.15
	给水系统 u_{23}	0.1	0.45	0.15	0.2	0.1
	通风设备 u_{24}	0.15	0.4	0.15	0.2	0.1
	除尘系统 u_{25}	0.1	0.35	0.2	0.2	0.15
使用环境 u_3	负荷状态 u_{31}	0.05	0.5	0.15	0.2	0.1
	升降压频率 u_{32}	0.15	0.35	0.25	0.2	0.05
	设备布局 u_{33}	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1
安全管理 u_4	安全教育 u_{41}	0.1	0.45	0.15	0.25	0.05
	安全管理制度 u_{41}	0.05	0.4	0.3	0.15	0.1
	安全机构职能 u_{43}	0.1	0.45	0.25	0.1	0.1
	应急救援措施 u_{44}	0.05	0.35	0.35	0.15	0.1

2.2 构造模糊评判矩阵

邀请 20 位专家组成评审团,借助安全检查表对该企业员工素质、锅炉设备、使用环境、安全管理四个主因素及其子因素做出考评,同时对综合评价指标体系中各二级指标进行单因素评价,以确定评价对象对评判集的隶属度。通过对专家评价结果的整理、统计,得到该火电站锅炉设备的模糊综合评价打分体系,见表 3。

2.3 综合评价

多层次模糊综合评价是从最低层开始,逐层向上进行综合评价,即对各下级指标做出模糊评价后,低层次的多因素评价结果形成上一级对应的单因素评价对象,这样就构成了多级模糊综合评判体系^[10]。本文仅就一、二级评价指标进行二级模糊综合评价,评价模型如下:

$$B = A_0 \circ R = (b_1 \ b_2 \dots \ b_s)$$

$$R = \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ \dots \\ A_i \circ R_i \\ \dots \\ A_M \circ R_M \end{bmatrix} \quad (i=1 \ 2 \ 3 \ \dots \ M) \quad (1)$$

式中 \circ 为模糊算子。为了客观地评价各因素的安全程度和贡献量,本文采用加权平均型算子 $b_j = \sum_{i=1}^n a_i g_{ij} (j=1 \ 2 \ \dots \ m)$,可见 b_j 的大小是由模糊评判矩阵 R 中的每一个 r_{ij} 和权重 a_i 共同决定,因此每个因素对评价结果都有一定的贡献。

根据影响员工素质 u_1 各因素的权重集 A_1 和

模糊矩阵 R_1 , 可得:

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = (0.14 \ 0.48 \ 0.30 \ 0.08) \circ \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.15 & 0.45 & 0.2 & 0.15 & 0.05 \\ 0.1 & 0.35 & 0.25 & 0.2 & 0.1 \\ 0.05 & 0.4 & 0.25 & 0.25 & 0.05 \end{bmatrix} =$$

$$(0.12 \ 0.409 \ 0.219 \ 0.18 \ 0.072)$$

同理可求出影响电站锅炉安全其他因素的 B_i 。

$$B_2 = (0.101 \ 0.438 \ 0.165 \ 0.196 \ 0.1)$$

$$B_3 = (0.097 \ 0.424 \ 0.197 \ 0.2 \ 0.082)$$

$$B_4 = (0.081 \ 0.425 \ 0.261 \ 0.14 \ 0.093)$$

因此得到模糊综合矩阵

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.12 & 0.409 & 0.219 & 0.18 & 0.072 \\ 0.101 & 0.438 & 0.165 & 0.196 & 0.1 \\ 0.097 & 0.424 & 0.197 & 0.2 & 0.082 \\ 0.081 & 0.425 & 0.261 & 0.14 & 0.093 \end{bmatrix}$$

$$\text{综合评价结果: } B = A_0 \circ R = (0.097 \ 0.427 \ 0.21 \ 0.176 \ 0.09)$$

可根据最大隶属度原则或加权平均原则对评价结果进行处理,考虑到最大隶属度原则在某些情况下损失信息较多,可能影响评价结果,本文采用加权平均原则对综合评价结果进行处理,将评价等级“好,较好,一般,差,很差”分别赋值 1, 2, 3, 4, 5。规定锅炉安全等级: 1~2(安全); 2~3(一般安全); 3~4(较危险); 4~5(很危险)。

$$\text{评价等级 } \bar{B} = \frac{\sum_{j=1}^n b_j g_j}{\sum_{j=1}^n b_j} = 2.735$$

综上可得,电站锅炉综合安全等级隶属于一般安全级别,与该电站锅炉系统实际情况进行对比,结果表明评价结果与企业实际相符。

3 结论

1) 综合评价结果的可靠性和准确性依赖于合理确定评价指标体系、指标的权重分配和综合评价的合成算子等。需要根据评价系统的特点来选取合适的评价模型和算法,使评价结果更加客观、科学和有针对性。

2) 各评价指标的权重值及单因素评价矩阵可根据各电站锅炉企业的具体情况而定,使模糊评价结果更符合企业的实际情况。

参考文献:

- [1]姜磊,杨俊保.电站锅炉故障诊断技术的发展[J].上海电力学院学报,2010,26(6):541-543.
 [2]彭小兰,范晓明.基于安全检查表法的锅炉厂质量保证体系的安全评价[J].安全与环境工程,2010,17(6):47-50.
 [3]程华瑞,栗继祖.运用TNT当量法及事故树法在分析

(上接第102页)比,还具有收敛速度快,不易陷入局部极小值和调整参数少等优势,在实际应用中有很大的前景。

3 结论

1) 构建了基于NPSO算法的NPSO-GRNN需水量预测模型,提高了网络的泛化能力和拟合性能。

2) NPSO-GRNN预测模型具有比传统BP神经网络模型预测精度高,不易陷入局部极小值,调整参数少等优点,在实际应用上有良好的前景,为城市生活需水量预测提供了新方法。

参考文献:

- [1]常淑玲,尤学一.天津市需水量预测研究[J].干旱区资源与环境,2008,02:14-19.
 [2]张雅君,刘全胜,冯萃敏.多元线性回归分析在北京城市生活需水量预测中的应用[J].给水排水,2003,04:26-29.
 [3]景亚平,张鑫,罗艳.基于灰色神经网络与马尔科夫链的城市需水量组合预测[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2011(7):229-234.
 [4]CUBERO R G. Neural networks for water demand time series forecasting [C]. Artificial Neural Networks Int .

锅炉爆炸的危害[J].太原理工大学学报,2013,44(3):361-365.

- [4]郭驰,杨扬,王超,等.模糊层次分析法在小额贷款信用评级中的应用[J].河北工程大学学报:自然科学版,2013,30(2):106-109.
 [5]王飞,胡静娴,黄晶.APH和模糊综合评判在绿色建筑中的评价研究[J].河北工程大学学报,2014,31(2):107-110.
 [6]魏胜桃,张树海,李文军,等.模糊综合评价在焦化企业安全评价中的应用[J].工业安全与环保,2010,36(7):58-59.
 [7]刘新宪,朱道立.选择与判断[M].上海:上海科学普及出版社,1990.
 [8]王雪颖,郭徽,房新亮.模糊综合评价法在煤与瓦斯突出危险性评估中的应用[J].工业安全与环保,2012,38(6):31-34.
 [9]杨纶标,高英仪.模糊数学原理及应用[M].华南理工大学出版社,2006.
 [10]鲍学英,王起才,宫文昌.基于模糊层次分析法的地铁工程施工安全评价[J].中国安全生产科学技术,2013,9(1):136-139.

(责任编辑 刘存英)

Workshop, IWANN, 1991, 453-460.

- [5]魏津瑜,苏思沁,施鹤南.基于小波分析的城市需水量预测[J].中南大学学报:自然科学版,2013(Z2):183-187.
 [6]黄崇珍,梁静国.基于GRNN的海上钻井平台建造质量预测研究[J].哈尔滨工程大学学报,2009(3):339-343.
 [7]陈伟根,奚红娟,苏小平,等.广义回归神经网络在变压器绕组热点温度预测中的应用[J].高电压技术,2012(1):16-21.
 [8]李玉军,汤晓君,刘君华.粒子群优化算法在混合气体红外光谱定量分析中的应用[J].光谱学与光谱分析,2009(5):1276-1280.
 [9]MATLAB中文论坛. MATLAB神经网络30个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.
 [10]王晓敏,刘宏伟,李石妍.改进型混沌粒子群算法求解函数均值问题[J].河北工程大学学报:自然科学版,2011,28(3):100-104.
 [11]刘文颖,谢昶,文晶,等.基于小生境多目标粒子群算法的输电网检修计划优化[J].中国电机工程学报,2013(4):141-148.
 [12]李智勇,童调生.基于多种群进化小生境遗传算法的神经网络进化设计方法研究[J].控制与决策,2003(5):607-610.

(责任编辑 刘存英)