

烟气同时脱硫脱硝技术综合评价 ——基于博弈改进云模型

周建国^{1,2}, 段三良²

(1. 华北电力大学 环境科学与工程学院, 河北 保定 071003; 2. 华北电力大学 经济管理系, 河北 保定 071003)

摘 要:烟气同时脱硫脱硝技术综合评价的相关决策指标具有不确定性。为克服模糊集理论在处理不确定性数据问题时存在的不彻底性所带来的评价缺陷, 本文提出采用基于云理论的综合评价模型对烟气同时脱硫脱硝技术进行综合评价; 同时, 运用合作博弈方法将主观赋权、客观赋权、智能赋权相结合, 形成组合权重, 从而有效避免了综合评价中单一权重的片面性。最后, 基于博弈改进云模型, 对目前国内外共 11 种具有代表性的烟气同时脱硫脱硝技术进行了综合评价, 并得出较为客观的综合评价结果。

关键词:烟气同时脱硫脱硝技术; 合作博弈; 改进云模型

中图分类号: F272. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2009)08-0066-06

燃煤电厂烟气同时脱硫脱硝技术与各自单独建设投产的烟气脱硫技术、烟气脱硝技术相比较, 具有设备占地面积小、投资成本与运行费用少等优点, 是未来烟气脱硫、烟气脱硝技术选择的一个重要方向。在选择烟气同时脱硫脱硝技术时, 一般采用综合评价方法^[1-3]。由于相关决策指标具有不确定性的特点, 因此擅长处理不确定性数据的模糊综合评价方法^[4-5]成为较为理想的选择。然而, 模糊集理论具有不彻底性: 不能将其对事物不确定性的描述与刻画贯彻整个分析研究过程的始终。这是因为, 隶属函数本身是一个精确的概念, 一旦用一个精确的隶属函数来描述模糊集, 模糊概念就被强行纳入到精确数学的王国, 之后在概念的定义、定理的叙述及证明等数学思维环节中就不再有丝毫的模糊性了。云模型^[6]作为定性定量不确定性转换模型, 将数据的不确定性保持到数据处理过程的始终, 从而较好地弥补了模糊集理论的上述缺陷, 有可能成为烟气同时脱硫脱硝技术综合评价的理想方法。本文以云理论为基本评价理论, 并改进了综合云的生成过程以及综合云模型的排序方法, 对烟气同时脱硫脱硝技术进行了评价。在综合云的生成过程中, 需要确定指标的权重系数, 所确定的权重系数的精确度和科学性将对评价结果产生很重要的影响。在权重的确定问题上, 国内外研究有数十种之多, 但大体上可分为两类, 即主观赋权法(如德尔菲法、AHP 法等)和客观赋权法(如主成分分析法、熵值法等)。为了避免人为因素和样本差异对指标重要程度的影响而导

致的指标权重精确度偏差, 一些学者提出了运用最优化理论涵盖主客观赋权的组合赋权方法^[7]。但仅是对不同指标的一个对象进行简单组合, 并不能体现最优化的特性。本文运用了博弈论的原理, 对不同方法下的权重进行集化^[8], 以协调权重确定方法中的不一致关系, 达到均衡, 从而更科学、全面和客观地解决权重确定问题。

1 烟气同时脱硫脱硝技术综合评价指标体系

对烟气同时脱硫脱硝技术进行综合评价, 首先需要建立指标体系。在充分考虑脱硫脱硝技术现有状况和未来发展趋势, 并参考国内外现有关于脱硫、脱硝以及同时脱硫脱硝技术评价指标体系^[4-5, 9]的基础上, 从环境、经济、技术三大方面, 建立烟气同时脱硫脱硝技术评价指标体系, 如图 1 所示。

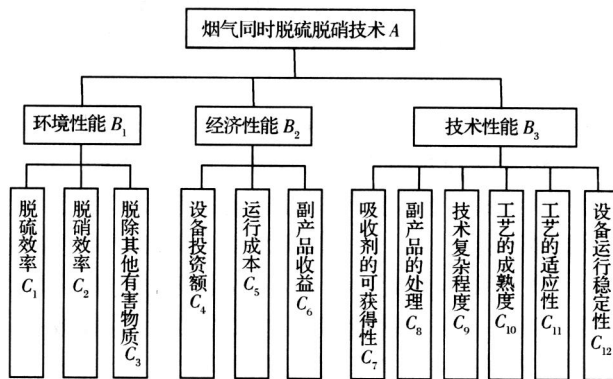


图 1 烟气同时脱硫脱硝技术评价指标体系

收稿日期: 2009-05-25

作者简介:周建国(1965—), 男, 河北固安人, 华北电力大学企业与经济研究所所长, 华北电力大学环境科学与工程学院副教授, 博士, 研究方向: 技术经济及管理、大气污染治理控制技术的技术经济评价; 段三良(1983—), 男, 河北威县人, 华北电力大学经济管理系硕士研究生, 研究方向: 烟气脱硫脱硝技术经济评价。

2 基于博弈改进云的烟气同时脱硫脱硝技术综合评价模型

2.1 基于合作博弈的权重组合模型

2.1.1 合作博弈方法的基本原理^[8]

设单一方法集合 M 的所有子集为 2^M , 那么 M 的任何一个子集 $S \in 2^M$ 形成组合评价的一个联盟。若干种单一评价方法结成联盟后, 作为一个整体进行组合评价, 目标是尽量提高组合评价结论与原始方法评价结论的一致性。

特征函数 $v(S)$ 表示联盟 S 通过协调其成员的策略所能保证得到的最大赢得。

$$v(S) = \max_{x \in X_S} \left[\min_{y \in X_{M-S}} \left(\sum_{i \in S} p_i(x, y) \right) \right]。$$

当用特征函数来研究 m 人合作博弈时, 实际上进行了旁支付假设(side-payoff), 该假设在交易计划中是合理的。支付向量 (payoff vector) X_i 表示第 i 个参与者所得的份额, X_i 满足:

①个体合理性: $X_i \geq v(\{i\}) (i = 1, 2, \dots, m);$

②群体合理性: $\sum_{i \in M} X_i = v(M)$, 称帕雷托最优性 (pareto optimality);

③核心 (core) 中的分配使得任何联盟都没有能力推翻它。

为保证支付向量 X 在核心中还需满足联盟合理性, 即 $X(S) \geq v(S), \forall S \subset M$ 。核子 (nucleolus) 和 Shapley 值是两种将 $v(M)$ 分配给 m 个参与者的支付方案。核子是对核心的扩展, 而且对于任何合作对策必须非空。Shapley 值实质是按照各参与者的“平均”贡献大小来分配支付, 是从三个公理 (有效性公理、对称性公理、可加性公理) 出发得到的:

$$\phi(v) = \sum_{i \in M} \frac{(m - |S|)! \times (|S| - 1)!}{m!} \times [v(S) - v(S - \{i\})] (i = 1, 2, \dots, m)。$$

2.1.2 确定组合权重系数的合作博弈方法

文献[8]利用合作博弈方法确定组合权重时主观设定了一个基准得分, 但该基准得分缺乏科学依据, 不能很好地反映有关数据本身的特征。为此本文使用了能够反映有关数据客观特性的“一致性相关系数”算子, 该算子表征了参与者的“平均”贡献, 提高了基准得分的科学性。具体如下:

输入: 分别用 m 种不同的方法计算出的指标权重 $W(1)、W(2)、\dots、W(m)$ 。

输出: m 种权重的最佳组合 W 。

① i 的取值为 1 到 m , 分别计算 $W(i)$ 与 $W(m-i)$ 的一致性相关系数 $L(i)$, 其中 $W(m-i)$ 表示除 $W(i)$ 外的 $m-1$ 种权重 $W(1)、\dots、W(i-1)、W(i+1)、$

$\dots、W(m)$ 的最佳组合;

②求权重组合 $W^* = \sum_{i=1}^n W(i) \times L(i);$

③由于 $W(m-i)$ 表示除 $W(i)$ 外的 $m-1$ 种权重的最佳组合, 所以与求 m 种权重的最佳组合 W 的方法一样, 可以采用递归调用, 每调用一次权重个数减一, 直到权重的个数等于 2 为止;

④权重个数等于 2 时, $W^* = \frac{W(1) + W(2)}{2};$

⑤将 W^* 归一化得到 W 。

2.2 基于改进云的综合评价模型

2.2.1 云的基本概念

云是用语言值表示的某个定性概念与其定量表示之间的不确定性转换模型。云可用三个数字特征来刻画: 期望值 Ex (expected value)、熵 En (entropy) 和超熵 He (hyper Entropy)^[6]。期望值 Ex , 在论域空间中最能够代表这个定性概念的点, 是这个概念量化的最典型样本点。熵 En , 代表一个定性概念的可度量粒度, 通常熵越大概念越宏观。熵还反映了定性概念的不确定性, 表示在论域空间可以被定性概念接受的取值范围大小, 即模糊度, 是定性概念亦此亦彼性的度量。超熵 He 是对熵的不确定性的度量, 它反映代表定性概念值的样本出现的随机性, 揭示了模糊性和随机性的关联。

正态云是表述语言原子的最基本的工具, 可根据云的数字特征 (Ex, En, He) 产生。如表示语言值指标良好, 则可用 ($Ex = 0.8, En = 0.1, He = 0.005$) 度量, 生成的云模型如图 2 所示:

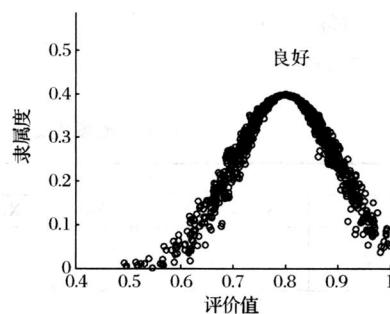


图 2 “良好”的云模型

2.2.2 改进的综合云生成

在给定的系统性能指标体系中, 既有用精确数值表示的指标, 又有用语言值来描述的指标。文献[6]提出了一种综合云的生成方法, 但在生成综合云的过程中, 合成数值型指标时没有把权重计算在内, 只是进行了简单的等权相加; 在合成语言型指标时, 将 En 看做权重, 进行相乘, En 的含义是指标的不确定性, 也就是说它度量了偏离中心的程度, En 值越大越不确定, 即用 Ex 近似表示的准确性越低。

所以,本文选用 En^{-1} 作为权重,经多次实验证明,本文的方法更能充分利用云理论中各指标提供的信息,得出的结果也更加符合现实。

1) 对于用精确数值表示的指标, n 个精确数值型的指标就可以用一个云模型来表示(其中 Ex_i 为指标 C_i 的精确数值表示, W_i 为指标 C_i 的权重,由 2.1 中的模型计算),见式(1)和式(2)。

$$Ex_1 = \sum_{i=1}^n (Ex_i \times W_i); \tag{1}$$

$$En_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (|Ex_i - Ex| \times W_i)}{3}。 \tag{2}$$

2) 对于语言值表示的指标,每个语言值型的指标 C_i 都可以用一个云模型来表示 (Ex_i, En_i, He_i),那么 n 个语言值表示的一个指标就可以用一个一维综合云来表示(其中 W_i 为指标 C_i 的权重,由 2.1 中的模型计算),见式(3)和式(4)。

$$Ex_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Ex_i \times W_i \times En_i^{-1})}{\sum_{i=1}^n (W_i \times En_i^{-1})}; \tag{3}$$

$$En_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i \times En_i^2)}。 \tag{4}$$

3) 将生成的数值云模型和语言值云模型形成一个综合云(其中 $W_1、W_2$ 分别为数值型指标和语言值型指标的权重和),见式(5)和式(6)。

$$Ex = \frac{Ex_1 \times \frac{W_1}{En_1} + Ex_2 \times \frac{W_2}{En_2}}{\frac{W_1}{En_1} + \frac{W_2}{En_2}}; \tag{5}$$

$$En = \sqrt{W_1 \times En_1^2 + W_2 \times En_2^2}。 \tag{6}$$

2.2.3 改进的基于综合云的优选排序

对于生成的综合云,采用如下的方法进行排序:

1) 根据综合云的 Ex 值判断待评价目标所属的等级,将整个区间 0~1 分成 5 个等级,即差、较差、中、较优、优。为了更好地区分和突出优,“优”占 0.1,“较优”和“中”各占 0.2,“较差”和“差”各占 0.25,具体见表 1。

表 1 综合云的 Ex 值及其所属等级的标度

Ex 值	0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1
所属等级	差	较差	中	较优	优

2) Ex 值属于不同等级的,按等级排序。
3) Ex 值属于同一等级的,计算生成的综合云在该等级区间上的概率密度,也就是在该区间上计算积分,根据积分的大小排序,概率密度大的表示生成的云模型所属该等级的程度大,排在前面。

3 代表性烟气同时脱硫脱硝技术综合评价

3.1 代表性烟气同时脱硫脱硝技术方法的选取

基于多年来国内外有关同时脱硫脱硝技术的研究报道,本文选取了有代表性的 11 种烟气同时脱硫脱硝技术进行综合评价,主要包括活性炭法(X1)、CuO 法(X2)、NOXSO 法(X3)、SNAP 法(X4)、WSA-SNOX 法(X5)、SNRB 法(X6)、Parsons 法(X7)、EBA 法(X8)、高活性吸收剂法(X9)、液相复合吸收剂法(X10)、TiO₂ 光催化法(X11)^[5,9-17]。以上技术的相关分析情况如表 2 所示。

表 2 代表性烟气同时脱硫脱硝技术经济分析结果

评价指标	技术										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
脱硫效率 C1/(%)	98	90	97	90	95	80	95	95	95	98	96
脱硝效率 C2/(%)	80	90	70	80	95	90	90	90	67	93	50
脱除其他有害物 C3	可除 HCl、HF、砷、硒、汞等	不可以	不可以	不可以	不可以	不可以	不可以	改进后可去除 CO ₂	可除 HCl、HF、汞等	可除 HCl、HF、汞等	可除 HCl、HF、汞等
设备势将额 C4	较高	较高	较高	较高	高	高	高	较高	低	低	低
运行成本 C5	较高	较高	较高	低	低	高	高	较高	低	低	低
副产品收益 C6	硫酸或单质硫	硫酸或单质硫	硫酸或单质硫	单质硫	浓硫酸	无	单质硫	硫酸铵和硝酸铵的混合物,可用作化肥	硫酸钙和硝酸钙的混合物	硫酸钙和硝酸钙的混合物	硫酸铵和硝酸铵的混合物,可用作化肥

续表

评价指标	技术										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
吸收剂获得 C7	活性炭,运行损失约 2 %	吸收剂 CuO 可再生,但再生中物化性能下降	碳酸钠	碳酸钠	氨,液氨储运困难	熟石灰和氨,液氨储运困难	天然气	氨,液氨储运困难	熟石灰和粉煤灰	熟石灰和添加剂	氨,液氨储运困难
副产品处理 C8	不产生废水、废渣	不产生废水、废渣	不产生废水、废渣	不产生废水、废渣	粉尘排放低,不产生废水、废渣	产生废渣	产生废水	不产生废水	不产生废水	产生废水	不产生废水
技术复杂程度 C9	操作较复杂	工艺复杂	工艺复杂	工艺复杂	运行和维护要求较低,可靠性高	布袋除尘器需耐高温	工艺复杂	设备便于操作控制	设备便于操作控制	设备便于操作控制	设备便于操作控制
工艺成熟度 C10	商业化	实验室	示范	示范	商业化	示范	中试	中试	示范	中试	实验室
工艺适应性 C11	低硫或中硫煤	适用于各种煤	适用于中高硫煤	适用于中高硫煤	适用于各种煤	适用于各种煤	适用于各种煤	适用于中小处理系统	适用于各种煤	适用于各种煤	适用于各种煤
设备稳定性 C12	稳定	稳定	稳定	稳定	硫酸铵或硫酸氢,铵在低温区域结垢	较稳定	较稳定	硫酸铵或硫酸氢,铵在低温区域结垢	稳定	稳定	稳定

3.2 指标预处理

在表 2 所列的 12 项技术经济指标中,有两种类型的指标——数值型指标和语言型指标。本文对两类指标采用了不同的处理方法:

1) 对数值型指标 C1、C2 进行归一化处理。设共有 m 个指标、 n 种方法,对应第 i 个指标的第 j 种方法的值为 X_{ij} ,采用式 (7) 处理 (其中, $\overline{X_{ij}}$ 表示归一化后的指标)。

$$\overline{X_{ij}} = \frac{X_{ij} - \min_{1 \leq j \leq n} (X_{ij})}{\max_{1 \leq j \leq n} (X_{ij}) - \min_{1 \leq j \leq n} (X_{ij})} \circ \tag{7}$$

2) 对于语言型指标 C3~C12,根据专家意见确定 E_x 和 E_n 的值,由于云层的厚度 He 对云的位置和形状影响较小,取固定值 0.005。

3) 指标预处理结果如表 3 所示。

表 3 指标预处理结果

指标	技 术										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
C1	1.0000	0.5556	0.9444	0.5556	0.8333	0.0000	0.8333	0.8333	0.8333	1.0000	0.8889
C2	0.6667	0.8889	0.4444	0.6667	1.0000	0.8889	0.8889	0.8889	0.3778	0.9556	0.0000
C3	0.9,0.05	0.1,0.03	0.1,0.03	0.1,0.03	0.1,0.03	0.1,0.03	0.1,0.03	0.5,0.1	0.9,0.06	0.9,0.06	0.9,0.06
C4	0.6,0.1	0.6,0.05	0.55,0.05	0.65,0.05	0.2,0.05	0.3,0.05	0.4,0.05	0.6,0.15	0.8,0.1	0.75,0.05	0.75,0.1
C5	0.5,0.05	0.4,0.05	0.45,0.05	0.65,0.05	0.8,0.15	0.2,0.1	0.2,0.05	0.4,0.15	0.85,0.05	0.75,0.05	0.8,0.05
C6	0.8,0.06	0.8,0.06	0.8,0.06	0.7,0.06	0.5,0.08	0.1,0.05	0.7,0.06	0.8,0.1	0.65,0.1	0.65,0.1	0.8,0.1
C7	0.7,0.1	0.3,0.12	0.5,0.1	0.5,0.1	0.45,0.05	0.45,0.05	0.55,0.1	0.45,0.05	0.85,0.1	0.75,0.05	0.45,0.05
C8	0.8,0.1	0.8,0.1	0.8,0.1	0.8,0.1	0.9,0.05	0.3,0.1	0.25,0.05	0.7,0.1	0.7,0.1	0.25,0.05	0.7,0.1
C9	0.3,0.1	0.1,0.05	0.1,0.05	0.1,0.05	0.95,0.05	0.55,0.1	0.1,0.05	0.8,0.1	0.8,0.1	0.8,0.1	0.8,0.1
C10	0.9,0.05	0.3,0.1	0.8,0.1	0.8,0.1	0.9,0.05	0.8,0.1	0.5,0.05	0.5,0.05	0.8,0.1	0.5,0.05	0.3,0.1
C11	0.15,0.05	0.9,0.05	0.7,0.1	0.7,0.1	0.9,0.05	0.9,0.05	0.9,0.05	0.3,0.1	0.9,0.05	0.9,0.05	0.9,0.05
C12	0.9,0.05	0.9,0.05	0.9,0.05	0.9,0.05	0.3,0.1	0.8,0.1	0.8,0.1	0.3,0.1	0.9,0.05	0.9,0.05	0.9,0.05

注:数值型指标 C1、C2 对应的值为根据式 (7) 归一化的结果;语言型指标 C3~C12 对应的值为专家确定的 E_x 、 E_n 值,顺序为 (E_x , E_n)。

3.3 权重确定

3.3.1 单一方法计算权重

分别采用 Delphi 法 (主观法)、逼近理想点法 (客观法) 和神经网络法 (智能化方法) 3 种方法计算

指标 C1~C12 的权重,记为 W_1 、 W_2 、 W_3 。各种权重的计算方法详见文献 [18]、[19]、[20]。得出的结果如表 4 所示。

表 4 按三种权重算法所获得的三类权重

单一权重	指标											
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
W_1	0.1350	0.1350	0.0300	0.1600	0.1600	0.0960	0.0600	0.0600	0.0450	0.0600	0.0450	0.0300
W_2	0.1279	0.1159	0.0306	0.1594	0.1454	0.1056	0.0704	0.0584	0.0473	0.0604	0.0422	0.0365
W_3	0.1144	0.1658	0.0253	0.1506	0.1683	0.0902	0.0539	0.0402	0.0472	0.0309	0.0550	0.0580

3.3.2 组合权重确定

根据 2.1.2 节中提出的用于确定组合权重的合作博弈算法,对表 4 所得的权重 W_1 、 W_2 、 W_3 进行组合,使用 Matlab7 编程计算,得到表 5。

3.4 综合云的生成

根据 2.2 节的理论对表 3 中的数据进行如下处理:

1)数值型指标的综合。指标 C1、C2 为数值型指标,由式(1)和式(2)得表 6。

2)语言值型指标的综合。指标 C3~C12 为语言值型指标,由式(3)和式(4)得到表 7。

3)综合云的生成。将表 5 和表 6 的 (Ex_1, En_1) 、 (Ex_2, En_2) 综合,由式(5)和式(6)得到表 8。

表 5 基于合作博弈算法获得的组合权重

组合权重	指标											
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
W	0.1200	0.1403	0.0359	0.1436	0.1456	0.0983	0.0573	0.0570	0.0502	0.0552	0.0539	0.0427

表 6 数值型指标综合

云参数值	技术										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Ex_1	0.8204	0.7352	0.6749	0.6155	0.9232	0.4791	0.8633	0.8633	0.5878	0.9761	0.4098
En_1	0.0552	0.0552	0.0828	0.0184	0.0276	0.1472	0.0092	0.0092	0.0755	0.0074	0.1472

表 7 语言值型指标综合

云参数值	技术										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Ex_2	0.6329	0.5262	0.5311	0.5866	0.5484	0.3557	0.3989	0.5407	0.8222	0.7091	0.7480
En_2	0.0760	0.0680	0.0695	0.0695	0.0855	0.0773	0.0599	0.1172	0.0851	0.0637	0.0816

表 8 综合云

云参数值	技术										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Ex	0.6941	0.5895	0.5639	0.6031	0.7438	0.3750	0.7220	0.8044	0.7556	0.9101	0.6928
En	0.0711	0.0649	0.0732	0.0605	0.0749	0.1003	0.0517	0.1009	0.0827	0.0549	0.1028

3.5 综合云的排序

表 8 是基于博弈改进云模型并经过多重过程的计算而最终生成的综合云。将该综合云用云模型的示意图进行表示,如图 3 所示。

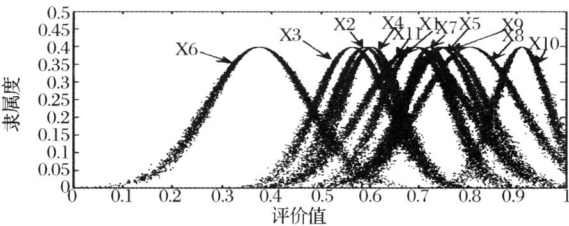


图 3 基于改进云的评价结果示意图

根据 2.2.3 节所述的排序标准:

1)表 7 中 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11 这 11 种技术的 Ex 值分别为 0.6941、0.5895、0.5639、0.6031、0.7438、0.3750、0.7220、0.8044、0.7556、0.9101、0.6928。根据表 1 所规定的 Ex 值的标度可知:X10 为“优”;X5、X7、X8、X9 为“较优”;X1、X2、X3、X4、X11 为“中”;X6 为“较差”。即 $X10 > (X5, X7, X8, X9) > (X1, X2, X3, X4, X11) > X6$ 。

2)对属于“较好”的 X5、X7、X8、X9 进行“排序性”计算,依次为 0.7685、0.6654、0.9368、0.8659,

① “>”表示“优于”。

可得 $X_8 > X_9 > X_5 > X_7$ 。对属于“中”的 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_{11}$ 进行“排序性”计算,依次为 0.8671、0.5412、0.4651、0.5564、0.8552,可得 $X_1 > X_{11} > X_4 > X_2 > X_3$ 。

3)最终排序结果为: $X_{10} > X_8 > X_9 > X_5 > X_7 > X_1 > X_{11} > X_4 > X_2 > X_3 > X_6$ 。

3.6 综合评价的最终结果

由上述评价,获得本文所选择的 11 种代表性烟气同时脱硫脱硝技术从优到劣的排序:液相复合吸收剂法、EBA 法、高活性吸收剂法、WSA-SNOX 法、Parsons 法、活性炭法、 TiO_2 光催化法、SNAP 法、CuO 法、NOXSO 法、SNRB 法。

4 结论

本文采用基于博弈改进云的综合评价模型,对 11 种代表性的烟气同时脱硫脱硝技术进行了综合评价。该方法通过研究云模型的期望值 E_x 、熵 E_n 、超熵 He 来克服模糊综合评价方法在处理不确定性数据时的不彻底性,在理论上增加了整个综合评价过程的科学性。本文的实际评价结果与国内有关专家对这些烟气同时脱硫脱硝技术的主观评价结果基本上一致,专家的主观评价结果在实践上一定程度上对本文研究方法的科学性进行了验证。因此,基于云理论的综合评价模型来研究烟气同时脱硫脱硝技术的综合评价问题具有一定的现实意义。但云理论毕竟是新兴的理论,还存在不足,需要进一步的发展与完善。

参考文献

- [1] 陈亚非,高翔,骆仲汉,等. 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.
- [2] 曹国庆,邢金城,涂光备. 基于灰色层次分析理论的烟气脱硫技术评价方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(4):51-55.
- [3] 张朝晖,赵毅,马双忱. 燃煤电厂烟气联合脱硫脱氮技术发展现状[J]. 电力情报,2001(1):4-8.
- [4] 高巨宝,樊越胜,邹峰,等. 烟气联合脱硫脱硝技术的对比研究[J]. 锅炉技术,2006,37(5):75-78.
- [5] 张艳,许佩瑶,解海卫. 烟气联合脱硫脱氮技术的模糊综合评判[J]. 华北电力大学学报,2004,31(2):87-90.
- [6] 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展,1995,32(6):15-20.
- [7] 王广月,刘健. 基于组合权重的灰色关联度方案决策模型及其应用[J]. 工业建筑,2004,34(4):61-65.
- [8] 陈衍泰,陈国宏,李美娟. 应用合作博弈确定组合评价权重系数的方法研究[J]. 中国管理科学,2005,13(3):89-94.
- [9] 王书肖,郝吉明. 火电厂烟气脱硫技术的模糊综合评价[J]. 中国电力,2001,34(12):58-62.
- [10] SHEMWELL B E, ERGUT A, YIANNIS A. Economics of an integrated approach to control SO_2 , NO_x , HCl and particulate emissions from power plants[J]. Journal of Air and Waste Management Association, 2002, 52(5):521-534.
- [11] CHANG J S. Simultaneous removal of NO_x and SO_2 from coal boiler flue gases by DC corona discharge ammonia radical shower systems: pilot plant tests[J]. Journal of Electrostatics, 2003(57):313-323.
- [12] RADOIU M T. Emission control of SO_2 and NO_x by irradiation methods[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003(B97):145-158.
- [13] KARVOSENOJA N, JOHANSSON M. Cost curve analysis for SO_2 and NO_x emission control in Finland[J]. Environmental Science & Policy, 2003(6):329-340.
- [14] 钟秦. 燃煤烟气脱硫脱硝技术及工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2002:325-350.
- [15] 赵毅,马双忱,黄建军,等. 烟气循环流化床同时脱硫脱氮试验研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(2):120-124.
- [16] ZHAO Y, SUN X J, FANG H. Simultaneous Removal of SO_2 and NO_x from flue gas using “Oxygen-enriched” highly reactive absorbent[J]. Environmental Engineering Science, 2007, 24(3):360-370.
- [17] 赵毅,赵莉,韩静,等. TiO_2 光催化烟气同时脱硫脱硝方法及其机理研究[J]. 中国科学 E 辑,2008,38(5):755-763.
- [18] 李桥兴. 多属性决策中指标权重确定的理论与应用[D]. 南宁:广西大学,2004:9-12.
- [19] AHN B S, PARK K S. Comparing methods for multiattribute decision making with ordinal weights[J]. Computers & Operations Research, 2008, 35:1660-1670.
- [20] PARK K S. Mathematical programming models for characterizing dominance and potential optimality when multicriteria alternative values and weights are simultaneously incomplete[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics —Part A, 2004(34):601-614.

(下转第 114 页)

- [2] NOWDAY R T, STEERS R M, PORTER L M. The measurement of organizational commitment [J]. Journal of Vocational Behaviour, 1979, 14: 224-247.
- [3] ALUTOO J A, HREBINIAKL G, ALONSO R C. On operationalizing the concept of commitment [J]. Social Forces, 1973, 51: 448-454.
- [4] MEYER J P, ALLEN N J. Testing the "side-bets theory" of organizational commitment: one methodological considerations[J]. Journal of Applied Psychology, 1984, 69: 372-378.
- [5] 林竹, 薛芹. 员工的组织承诺模型研究[J]. 商业研究, 2007(11): 54-56.
- [6] 徐玖平, 段雪玲. 汶川特大地震灾后民营企业重建的综合融资模式[J]. 管理学报, 2008(4): 773-780.
- [7] 傅思明. 突发事件应对法与政府危机管理[M]. 北京: 知识产权出版社, 2008: 3-5.
- [8] 潘陆山, 彭燕飞. 人-组织匹配与离职意向: 组织承诺的中介效应研究[J]. 技术经济, 2008, 27(4): 124-127.
- [9] 陆影, 任庆娟. 模糊多指标评价方法在连锁店选址中的应用[J]. 技术经济, 2008, 27(11): 33-37.
- [10] 张德. 组织行为学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 182-183.
- [11] 凌文轮, 张治灿. 中国职工组织承诺的结构模型研究[J]. 管理科学学报, 2000(2): 76-81.
- [12] 韩建. EAP 的安抚之道[J]. 企业改革与管理, 2008(8): 50-51.

The Maintenance of Organizational Commitment in Emergency

Han Xiao

(Economics and Management School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract : This paper analyzes possible behaviors of employees in emergency, and identifies the antecedent variables of organizational commitment including organizational system, organizational culture and organizational structure. Then, through establishing a multi-index fuzzy comprehensive evaluation model, it draws the following conclusion that the crucial factor to maintain organizational commitment in emergency is organizational system. Finally, it puts forward some measures to improve organizational systems, including constructing personnel selection system, employee insurance system in emergency, communication mechanisms, etc.

Key words : organizational commitment; emergency; multi-index fuzzy comprehensive evaluation model

(上接第 71 页)

Comprehensive Evaluation on Simultaneous Removal of SO₂ and NO_x from Flue Gas : Based on Game Theory and Improving Cloud Model

Zhou Jianguo^{1, 2}, Duan Sanliang²

(1. Environmental Science and Engineering School, North China Electric Power University, Baoding Hebie 071003, China;

2. Business Administration School, North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

Abstract : The comprehensive evaluation indicators evaluating simultaneous removal of SO₂ and NO_x from flue gas are uncertainty, and it is not thorough for fuzzy set theory to solve the uncertain problem. In this paper, the model based on the cloud theory are used to evaluate simultaneous removal of SO₂ and NO_x from flue gas, and cooperative game theory is used to assemble the method of subject weight, object weight and intelligence weight. Then, based on the model of game theory improving cloud, 11 typical technologies of simultaneous removal of SO₂ and NO_x from Flue Gas are evaluated comprehensively, and the evaluation results show that this model is useful.

Key words : technology of simultaneous removal of SO₂ and NO_x from Flue Gas; cooperative game; improving cloud model