

煤炭加工

基于熵权灰关联度分析法的煤样识别研究

王江荣¹, 罗资琴², 文 晖¹, 赵振学¹

(1. 兰州石化职业技术学院 信息处理与控制工程系, 甘肃 兰州 730060; 2. 兰州石化职业技术学院 石油化学工程系, 甘肃 兰州 730060)

摘 要: 针对常用煤炭识别方法样本数据要求高、人为因素影响大、识别准确性差等问题, 提出一种基于信息熵的灰色关联度分析方法。通过分析熵权灰关联分析法的决策模型, 根据样本数据建立了熵权灰关联度分析法的煤炭种类(无烟煤、烟煤和褐煤)辨识模型, 并反向检验了待测煤样识别的准确性。最后对比分析了熵权灰关联度分析法和模糊识别法的煤样识别的准确性。结果表明: 熵权灰关联度分析法对建模煤样和待测煤样的识别准确率均达到 100%; 而模糊识别法对建模煤样、待测煤样的识别准确率分别为 83.33%、75.00%, 总准确率为 81.25%。说明熵权灰关联度分析法泛化能力强、可靠性高, 明显优于模糊识别法。

关键词: 熵权; 灰关联分析; 煤样识别; 模糊识别法; 模型

中图分类号: TD849; TQ53 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)05-0028-04

Application of entropy coefficient grey correlation analysis in coal sample recognition

WANG Jiangrong¹, LUO Ziqin², WEN Hui¹, ZHAO Zhenxue¹

(1. Department of Technology Information Processing and Control Engineering, Lanzhou Petrochemical College of Vocational Technology Lanzhou 730060, China; 2. Department of Petrochemical Engineering, Lanzhou Petrochemical College of Vocational Technology Lanzhou 730060, China)

Abstract: The common coal identification methods, which are influenced greatly by human factors, require high level sample data. While the accuracy is poor. Provided a grey correlation analysis method based on the information entropy. Combining the entropy theory and gray relational analysis, established the entropy coefficient grey correlation analysis of coal type identification model which applies to anthracite, bituminous coal and lignite. The accuracy of the model was tested by antidromic method. Taking the modeling coal sample and coal sample under test as research objects, compared the accuracy of entropy coefficient grey correlation degree analysis method and fuzzy identification method. The first analysis method has a high recognition efficiency to the two kinds of coal samples, both the efficiency are 100%. While the efficiency of the second method is 83.33% and 75.00%, the total accuracy rate is 81.25%. The generalization and reliability of the entropy coefficient grey correlation analysis method is high.

Key words: entropy coefficient; grey correlation analysis; coal sample recognition; fuzzy recognition method; model

0 引 言

GB/T 5751—2009《中国煤炭分类》按成因将煤炭分为无烟煤、烟煤和褐煤三大类^[1]。煤炭分类在科学研究和实用方面具有重要意义^[2]。煤是一种结构复杂的物质, 不同变质程度的煤性质不同, 甚至

变质程度相同的煤性质也会有所差别。通过研究和预测煤的性质, 合理开发、科学有效利用煤炭资源, 可实现煤炭的清洁高效利用和经济效益最大化^[3-4], 因此有必要结合科学的煤样识别方法对煤炭进行准确分类。常见的种类识别法有模糊识别法、神经网络、支持向量机和模糊聚类算法等。模糊

收稿日期: 2014-06-24; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.007

基金项目: 甘肃省科技厅资助项目(1204GKCA004); 甘肃省财政厅专项资金立项资助项目(甘财教[2013]116号)

作者简介: 王江荣(1966—), 男, 甘肃静宁人, 教授, 硕士, 从事智能算法、数值计算和控制理论与应用方面的研究。E-mail: lzshwj@163.com

引用格式: 王江荣, 罗资琴, 文 晖, 等. 基于熵权灰关联度分析法的煤样识别研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 28-31, 35.

WANG Jiangrong, LUO Ziqin, WEN Hui et al. Application of entropy coefficient grey correlation analysis in coal sample recognition[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 28-31, 35.

识别法具有思想简单、计算速度快、稳定性好等优点,但模型的准确性依赖于原始数据的代表性,对样本数据要求较高;神经网络需要足够多的训练数据才能取得理想的识别效果,但实际数据往往较少,无法满足神经网络的需求;支持向量机不需要太多样本数据,但易出现训练集的拟合精度很高,而测试集的预测结果误差却很大的现象;模糊聚类算法是一种局部搜索优化算法,对聚类中心的初值十分敏感,如果初值选择不当,会收敛到局部极小点,识别结果不理想。煤的成因本身具有灰色特性,其信息往往不精确、不完整,有一定的随机性。表征煤样的主要因素有碳、氢、硫、氧、镜质组、丝质组、块状微粒体、粒状微粒体、壳质树脂体和平均最大反射率等^[5-6],这些因素存在信息叠加现象,为煤样识别带来困难。因此提出一种基于信息熵的灰色关联度分析方法,通过充分挖掘定量数据的信息,用信息熵原理确定权重,并用灰色关联分析法确定各煤炭样本与理想样本(类别已知)之间的区别,综合评定煤样类别。该方法克服了诸如层次分析法、模糊综合评价等方法指标权重易受人为因素的干扰,使指标权重的赋值更具客观性,评判结果更符合实际。许国根等^[6]采用模糊识别法对煤样进行分类识别,准确率为 81.25%;雷蕾等^[7]通过自组织竞争网络模型对煤样进行分类,但只有建模样本,没有测试样本,由于建模样本偏少(9 个)模型的稳定性、可靠性及泛化能力无法充分检验。笔者根据已知煤炭样本建立了熵权灰色关联度分析法的煤炭种类(无烟煤、烟煤和褐煤)辨识模型,并利用该模型预测了待测煤样的类别,提高了煤样识别的准确性。

1 熵权灰关联分析法

灰色关联分析法是一种多因素统计分析方法,对信息不精确、不完整的小样本系统有明显的分析优势。其核心是根据各类评价标准(理想样本),通过计算样本与各类评价标准的关联度大小,判断该样本与各类评价标准的接近程度来评定样本类别。虽然灰色关联度能描述因素间关系的强弱、大小和次序,但往往忽略了各评价指标间的重要性差异。如果没有充分考虑各指标重要性差异(各指标对评价系统的贡献不完全相同)和允许指标属性之间相互线性补偿,将导致信息流失,产生较大误差。因此各指标权重的确定是灰色评价系统中重要的影响因素。

信息熵能够对每个评价指标的重要程度予以充分的考虑和保证,客观揭示各评价指标的变异程度及重要性,减小了主观影响。熵权灰关联分析法通过计算指标熵值确定各指标的权重,再对所有指标的关联度加权求和,得出较为客观的综合评价结果,非常适合动态历程分析,是一种准确度较高的煤样识别方法。

2 基于熵权灰关联分析法的决策模型

2.1 熵权模型

利用熵权模型求得的权重能反映指标所包含的绝大部分原始信息^[8-9]。

1) 建立决策矩阵。设参与评价的对象有 m 个,评价指标有 n 个,用 x_{ij} 表示第 i 个评价对象的第 j 个指标的指标值,则形成的决策矩阵为 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。

2) 标准化决策矩阵。为消除各指标量纲不同对评判对象比较带来的影响,需对决策矩阵 X 进行标准化处理。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中 x'_{ij} ($0 \leq x'_{ij} \leq 1$) 为第 i 个评价对象的第 j 个指标的标准化值,形成的标准化决策矩阵为 $X' = (x'_{ij})_{m \times n}$ 。

3) 计算第 j 项指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m x'_{ij} \ln x'_{ij} \quad (2)$$

当 $x'_{ij} = 0$ 或 $x'_{ij} = 1$ 时,认为 $x'_{ij} \ln x'_{ij} = 0$ 。

4) 计算第 j 项指标的差异性系数 d_j 。由式(2)可知,如果某指标的指标值变异程度越大,则信息熵值越小,表明该指标反映的信息量越大,即该指标的权重越大。因此可利用信息熵计算各指标权值。按式(3)定义差异系数 d_j

$$d_j = 1 - e_j \quad (3)$$

d_j 越大,表示该指标提供的信息量越大,应给予较大的指标权重。

5) 确定各指标的熵权。

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (4)$$

式中 w_j 是差异系数归一化后的第 j 个指标的权重。

2.2 灰色关联度评价模型

利用灰色关联度^[10-11]进行综合评价,可充分利

用已有的白化信息,使各因素间的“灰”关系清晰化和量化,减少误差。

1) 指标的规范化处理^[12]。将决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 标准化,则

$$x_{ij}'' = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq k \leq m} (x_{kj})}{\max_{1 \leq k \leq m} (x_{kj}) - \min_{1 \leq k \leq m} (x_{kj})} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中, x_{kj} 为第 k 个样本的第 j 个指标值。

得到无量纲矩阵 $X'' = (x_{ij}'')_{m \times n}$ 。

2) 计算灰色关联系数^[13]。根据灰色系统理论,定义比较数列 $X''(i) = (x_{i1}'', x_{i2}'', \dots, x_{in}'')$ (标准化后的煤样样本) 对分类标准(参考)数列 X_0 (按式(5)归一化处理) 在第 j 个指标上的关联系数为

$$\zeta_i(j) = \frac{(\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |x_{0j} - x_{ij}''| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |x_{0j} - x_{ij}''|)}{(|x_{0j} - x_{ij}''| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |x_{0j} - x_{ij}''|)} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中, $|x_{0j} - x_{ij}''|$ 为第 j 个点 X_0 与 $X''(j)$ 的绝对差;

$\min_{1 \leq j \leq n} |x_{0j} - x_{ij}''|$ 为第 1 级最小差; $\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |x_{0j} - x_{ij}''|$ 是第 2 级最小差; ρ 为分辨系数 $\rho = 0.5$; $\max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |x_{0j} - x_{ij}''|$ 为第 2 级最大差。

3) 计算综合评价值。经熵权优化后的综合灰色关联度为

$$G_i = \sum_{j=1}^n w_j \zeta_i(j) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

G_i 值越大,说明关联程度越高,可依据 G_i 值对煤样进行客观评价。

3 基于熵权灰关联分析法的煤样识别

3.1 煤样性质

选取表征煤样性质的 10 个特性参数: 碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、镜质组(Vi)、丝质组(Sg)、块状微粒体(Mm)、粒状微粒体(Gm)、壳质树脂体(Cr)和平均最大反射率(R)^[6-7]。建模煤样编号为 1, 2, ..., 12; 待测煤样编号为 13、14、15、16。具体见表 1。

表 1 建模煤样特性指标测量值

煤样	$w(C)$	$w(H)$	$w(S)$	$w(O)$	$\varphi(Vi)$	$\varphi(Sg)$	$\varphi(Mm)$	$\varphi(Gm)$	$\varphi(Cr)$	R	煤样类别
1	92.21	2.74	0.84	3.58	86.70	13.30	0	0	0	4.92	无烟煤
2	92.58	2.80	1.00	2.98	90.01	9.70	0.20	0	0	3.98	无烟煤
3	92.63	3.04	0.74	2.64	89.10	10.60	0.30	0	0	4.12	无烟煤
4	93.01	1.98	0.55	3.46	89.00	9.40	0.80	0	0	6.05	无烟煤
5	84.62	5.61	0.76	7.30	69.10	13.10	1.40	4.10	12.50	0.90	烟煤
6	84.53	5.55	0.70	7.36	64.60	8.10	3.00	11.3	11.00	0.85	烟煤
7	83.82	5.78	0.90	7.80	84.10	2.70	1.20	7.40	4.50	0.93	烟煤
8	81.88	5.87	2.94	7.39	80.30	4.30	3.30	7.80	4.30	0.71	烟煤
9	72.49	5.31	2.11	20.23	85.72	7.90	3.54	3.12	3.73	0.30	褐煤
10	72.29	5.26	1.02	20.43	85.60	4.60	3.30	2.80	3.70	0.31	褐煤
11	71.39	5.33	1.07	21.03	84.70	5.90	2.80	3.00	3.60	0.32	褐煤
12	70.95	5.04	1.50	21.10	81.85	7.25	2.75	2.94	3.21	0.33	褐煤

表 2 待测煤样特性指标测量值

煤样	$w(C)$	$w(H)$	$w(S)$	$w(O)$	$\varphi(Vi)$	$\varphi(Sg)$	$\varphi(Mm)$	$\varphi(Gm)$	$\varphi(Cr)$	R
13	93.01	2.79	0.79	2.67	88.30	11.70	0	0	0	4.50
14	82.65	5.57	2.48	7.19	77.20	9.10	2.70	3.20	7.80	0.83
15	82.43	5.77	1.61	8.53	84.90	3.80	2.30	5.00	4.10	0.84
16	71.85	5.17	1.14	20.95	85.10	7.21	3.54	2.77	3.54	0.32

3.2 煤样识别

1) 计算指标熵权。根据表 1 建立决策矩阵 X , 求出指标权重 $w = (0.0022 \quad 0.0208 \quad 0.0547$

$0.1033 \quad 0.0018 \quad 0.0342 \quad 0.1242 \quad 0.2244$
 $0.2289 \quad 0.2054)$ 。

2) 建立煤样类别标准值。分别选取表 1 中无

烟煤、烟煤和褐煤各影响因素的平均值作为分类标准值(构成参考数列), 具体标准值见表 3。

表 3 分类标准值(参考数列)

%

评判集	因子集									
	w(C)	w(H)	w(S)	w(O)	$\varphi(Vi)$	$\varphi(Sg)$	$\varphi(Mm)$	$\varphi(Gm)$	$\varphi(Cr)$	R
无烟煤	92.61	2.64	0.78	3.17	88.70	10.75	0.33	0	0	4.77
烟煤	83.71	5.70	1.33	7.46	74.53	7.05	2.23	7.65	8.08	0.85
褐煤	71.78	5.24	1.43	20.70	84.47	6.41	3.10	2.97	3.56	0.32

用 X_0 表示表 3 的数据矩阵, 则 3 类煤样的参数数列为

$$X_0(\text{无烟煤}) = (92.61 \quad 2.64 \quad 0.78 \quad 3.17 \quad 88.70 \quad 10.75 \quad 0.33 \quad 0 \quad 0 \quad 4.77)$$

$$X_0(\text{烟煤}) = (83.71 \quad 5.70 \quad 1.33 \quad 7.46 \quad 74.53 \quad 7.05 \quad 2.23 \quad 7.65 \quad 8.08 \quad 0.85)$$

$$X_0(\text{褐煤}) = (71.78 \quad 5.24 \quad 1.43 \quad 20.70 \quad 84.47 \quad 6.41 \quad 3.10 \quad 2.97 \quad 3.56 \quad 0.32)$$

3.3 反向检验模型

利用 Matlab 编程求解, 得到建模煤样的熵权灰关联度综合评判结果(按最大综合关联度归类)见表 4。由表 4 可知, 12 个煤样的预测结果与实际结果完全一致, 准确率为 100%。

表 4 建模煤样熵权灰关联度评判结果

煤样	综合灰关联隶属度			预测结果	实际结果
	无烟煤	烟煤	褐煤		
1	0.9808	0.8293	0.8201	无烟煤	无烟煤
2	0.9771	0.8270	0.8182	无烟煤	无烟煤
3	0.9808	0.8268	0.8180	无烟煤	无烟煤
4	0.9626	0.8306	0.8216	无烟煤	无烟煤
5	0.6979	0.7642	0.7562	烟煤	烟煤
6	0.6272	0.7430	0.7355	烟煤	烟煤
7	0.7210	0.7809	0.7733	烟煤	烟煤
8	0.6863	0.7851	0.7771	烟煤	烟煤
9	0.7071	0.7919	0.7933	褐煤	褐煤
10	0.7136	0.7912	0.7927	褐煤	褐煤
11	0.7161	0.7884	0.7898	褐煤	褐煤
12	0.7195	0.7893	0.7904	褐煤	褐煤

3.4 确定待测煤样类别

保持指标熵权和分类标准值(参考数列)不变的情况下, 采用 Matlab 编程得到待测煤样的熵权灰关联度综合评判结果(按最大综合关联度归类)见表 5。由表 5 可知, 4 组预测结果与实际结果完全一致, 说明模型泛化能力强、可靠性高^[6]。

4 基于模糊识别法的煤样识别

采用欧氏距离计算煤样与表 3 中每类中心值的距离, 得到建模煤样和待测煤样的隶属 3 类煤样的隶属度, 按最大隶属度归类^[6], 评判结果见表 6。

表 5 待测煤样熵权灰关联度评判结果

煤样	综合灰关联隶属度			预测结果	实际结果
	无烟煤	烟煤	褐煤		
13	0.9825	0.8268	0.8179	无烟煤	无烟煤
14	0.7264	0.7891	0.7808	烟煤	烟煤
15	0.7362	0.7981	0.7898	烟煤	烟煤
16	0.7173	0.7922	0.7935	褐煤	褐煤

表 6 建模煤样和待测煤样的模糊识别评判结果

煤样	模糊隶属度			预测结果	实际结果
	无烟煤	烟煤	褐煤		
1	0.9026	0.5492	0.5482	无烟煤	无烟煤
2	0.8670	0.5610	0.5720	无烟煤	无烟煤
3	0.8792	0.5560	0.5648	无烟煤	无烟煤
4	0.8793	0.5642	0.5564	无烟煤	无烟煤
5	0.5006	0.7908	0.7087	烟煤	烟煤
6	0.4785	0.8109	0.7105	烟煤	烟煤
7	0.4465	0.7587	0.7948	褐煤	烟煤
8	0.4352	0.7575	0.8073	褐煤	烟煤
9	0.4039	0.7244	0.8717	褐煤	褐煤
10	0.4054	0.7230	0.8716	褐煤	褐煤
11	0.4039	0.7198	0.8763	褐煤	褐煤
12	0.4155	0.7138	0.8707	褐煤	褐煤
13	0.8978	0.5493	0.5529	无烟煤	无烟煤
14	0.4283	0.8264	0.7453	烟煤	烟煤
15	0.4365	0.7384	0.8252	褐煤	烟煤
16	0.4067	0.7187	0.8746	褐煤	褐煤

由表 6 可知, 模糊识别法对建模煤样的识别准确率为 83.33%, 对待测煤样的识别准确率为 75.00%, 总准确率为 81.25%。说明模糊识别的分辨率偏低, 熵权灰关联度分析法优于模糊识别法。

(下转第 35 页)

正常工作,而下质体的振幅 A_1 基本为零,使整机传给地基的动负荷较普通一次隔振大大减小。最后利用 Solidworks 软件建模使振动筛具体化,将激振器安装在高度可调的斜面上,并使用 PID 控制技术稳定上、下质体振幅,完成了反共振振动筛的初步设计,下一步将重点研究如何细化下质体结构,调整下质体质心位置。

参考文献:

- [1] 王新文,孙海洋,余训天,等.中国选煤厂脱介筛的应用现状[J].洁净煤技术,2013,19(3):10-13.
- [2] 杨晨,李辉.反共振振动筛动力学参数的设计与应用[J].机械研究与应用,2013,26(4):96-99.
- [3] 闻邦椿,刘凤翹.振动机械的理论及应用[M].北京:机械工业出版社,1982:199-265.
- [4] 刘杰,孙光复.反共振振动机械的理论及应用[J].东北大学学报,1995,16(1):82-86.
- [5] 刘杰,李允公,刘劲涛,等.基于振幅稳定的原点反共振振动机械动力学分析及其控制[J].机械工程学报,2006,42(1):145-148.
- [6] 刘劲涛,刘杰,李小号,等.反共振点位于两共振点正中间的反共振机参数选择[J].东北大学学报:自然科学版,2009,30

(3):405-408.

- [7] Liu J, Sun G F, Tang B X et al. Application of antiresonant theory in vibration utilization engineering [C] // Proceeding of ninth world congress on the theory of machine and mechanism. Milan [s. n.], 1995: 1093-1097.
- [8] 刘杰,侯祥林.反共振理论在减振技术中的应用[J].东北大学学报,1994,15(4):363-369.
- [9] 闻邦椿,刘树英.振动机械的理论及动态设计方法[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [10] 刘劲涛,李小号,高洪波,等.单质体反共振隔振振动机械的理论及应用[J].东北大学学报:自然科学版,2011,32(5):724-727.
- [11] 高洪波,赵波.反共振振动筛的动力学参数分析与优化[J].辽宁省交通高等专科学校学报:自然科学版,2005,7(4):40-42.
- [12] 韩丽鹏.大型反共振振动筛设计及性能仿真[D].沈阳:东北大学,2008:1-29.
- [13] 杨伟红,刘克铭,任兰柱,等.反共振离心脱水机隔振橡胶弹簧的动态特性研究[J].煤炭学报,2010,35(6):1028-1033.
- [14] 闻邦椿,刘树英,陈照波,等.机械振动理论及应用[M].北京:高等教育出版社,2009:65-71.
- [15] 李滨慧,高洪波,赵波,等.反共振振动筛的振幅稳定性控制[J].辽宁工程技术大学学报,2006,25(3):429-431.

(上接第31页)

4 结 语

煤炭分类对煤炭的使用、开发、贸易、安全管理及环境保护具有重要意义。煤的成因非常复杂,其成因本身是一灰色模糊系统,各因素间的界线并不明显,具有模糊性及信息不完整性,各因素既有主次之分,又存在着相互渗透性。因此煤的分类是一个高维数据处理问题。灰关联度分析法所需数据较少,对数据要求较低,原理简单,易于理解和掌握。利用信息熵的客观性计算指标权重值,避免了权重设置的人为主观性,将熵权置入灰关联度分析模型,增加了模型的客观性,克服了模型等分权重作评价分析的不足。采用熵权灰关联度分析法综合评价模型对煤样分类,准确率为100%。该方法的难点在于如何确定分类标准样本(参考序列),对分类标准样本有较高依赖性。该模型对其他地质环境下煤样分类的有效性还需进一步检验,在建模时引入数据降维技术可能效果会更好。

参考文献:

- [1] GB/T 5751—2009,中国煤炭分类[S].

- [2] 刘立麟.中国洁净煤发展战略探究[J].洁净煤技术,2012,18(2):1-5.
- [3] 钱卫,黄于益,张庆伟,等.煤制天然气(SNG)技术现状[J].洁净煤技术,2011,17(1):27-32.
- [4] 陈贵锋,罗腾.煤炭清洁利用发展模式与科技需求[J].洁净煤技术,2014,20(2):99-103.
- [5] 陈鹏.中国煤层煤分类的研究[J].煤炭科学技术,1999,27(1):39-42.
- [6] 许国根,贾瑛.模式识别与智能计算的MATLAB实现[M].北京:北京航空航天大学出版社,2012:97-98.
- [7] 雷蕾,王浩.自组织竞争网络在煤炭分类中的应用[EB/OL].(2007-10-24). [2014-06-24]. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2007/10/409/>.
- [8] 何逢标.综合评价方法MATLAB实现[M].北京:中国社会科学出版社,2010:326-329.
- [9] 胡新成,杨胜强,周秀红.基于熵权的TOPSIS法在煤与瓦斯突出综合评价中的应用[J].煤矿安全,2011,42(12):26-29.
- [10] 孙亚杰.灰色关联分析在煤与瓦斯突出预测中的应用[J].中州煤炭,2013(4):82-84.
- [11] 陈正伟.综合评价技术及应用[M].成都:西南财经大学出版社,2013:82-95.
- [12] 王延林,杨胜强,欧晓英.灰色关联分析在煤与瓦斯突出预测中的应用[J].煤炭技术,2009,28(3):67-69.
- [13] 李国良,付强,孙勇,等.基于熵权的灰色关联分析模型及其应用[J].水资源与水工程学报,2006,17(6):15-17.