

王金宝, 侯金玲, 张浪, 等. 采空区遗煤自燃危险性评价的熵权可拓方法[J]. 矿业安全与环保, 2015, 42(2): 43-48.
文章编号: 1008-4495(2015)02-0043-06

采空区遗煤自燃危险性评价的熵权可拓方法

王金宝¹, 侯金玲^{2,3,4}, 张浪^{2,3,4}, 舒龙勇^{2,3}

(1. 冀中能源峰峰集团有限公司, 河北邯郸 056000; 2. 煤炭科学技术研究院有限公司安全分院, 北京 100013;
3. 煤炭资源高效开采和洁净利用国家重点实验室, 北京 100013; 4. 北京市煤矿安全技术研究中心, 北京 100013)

摘要: 为客观判定采空区煤炭自燃的危险性, 采用熵权理论分析评价指标的权重, 能有效避免分析过程中的主观因素影响, 从而得出更客观的权重系数。建立了熵权可拓综合评价模型, 利用某煤矿采空区遗煤自燃情况的实例, 验证了此方法预测的准确性, 得出了与实际情况相符的结论。研究表明, 熵权可拓综合评价法能较好地预测采空区遗煤自燃, 为煤矿自燃“三带”的划分提供了一定的依据, 且计算简便, 对实际生产具有指导意义。

关键词: 采空区; 遗煤自燃; 熵权; 可拓方法

中图分类号: TD75⁺²; X913.4 文献标志码: A 网络出版时间: 2015-04-09 00:36

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20150409.0036.009.html>

Entropy Weight Extension Method for Spontaneous Combustion Risk Assessment of Residual Coal in Gob

WANG Jinbao¹, HOU Jinling^{2,3,4}, ZHANG Lang^{2,3,4}, SHU Longyong^{2,3}

(1. Jizhong Energy Fengfeng Group Co., Ltd., Handan 056000, China;

2. Mine Safety Technology Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

3. State Key Lab of Coal Resource High Efficient Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China;

4. Beijing Coal Mine Safety Engineering Technology Research Center, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to objectively determine the spontaneous combustion risk of coal in gob, using entropy weight theory for analyzing the weight of the evaluation indexes can effectively avoid the influence of subjective factors in the analysis process so as to obtain a more objective weight coefficient. An entropy weight extension comprehensive evaluation model was established, and by taking the spontaneous combustion situation of residual coal in the gob in a mine as examples, the prediction accuracy of this method was verified and it was consistent with the actual situation. The research showed that the entropy weight extension comprehensive evaluation method can be used to better predict the spontaneous combustion of residual coal in the gob, it provided a certain basis for the division of coal spontaneous combustion “three zone”, and its calculation is simple, so this research result has the instructive significance to the actual production.

Key words: gob; spontaneous combustion of residual coal; entropy weight; extensible method

我国是煤炭生产和使用大国, 据统计全国统配煤矿与重点煤矿中的自燃火灾次数占矿井火灾总次数的 90%~94%, 其中采空区遗煤自燃火灾次数又占煤矿自燃火灾次数的 60%, 所以采空区遗煤自燃

是煤层自燃防治中的重点研究内容。判定采空区煤自燃的“三带”成为目前防治自燃的重要手段, 但随着采煤工作面的推进, 同一工作面的“三带”会随着通风等条件的变化而变化, 从而给评价采空区自燃危险性带来了一定的不便。

国内对煤层自燃的危险性进行了大量研究, 预测方法也有很多, 在煤自燃理论方面, 刘爱华等通过对煤样产生气体量随温度变化的研究, 确定了煤自燃标志气体的预报曲线和拟合曲线, 并编制相应的监测软件系统^[1]; 邓军等建立了矿井火灾多源信息

收稿日期: 2014-07-10; 2015-02-05 修订

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05040-001-1)

作者简介: 王金宝(1983—), 男, 河北邯郸人, 工学学士, 工程师, 主要从事煤矿“一通三防”安全技术管理方面的工作。

融合预警系统,确定火灾危险区域,实现火灾预警^[2];太原电子研究设计院对采空区温度无线自组网传感器监测系统的研究和开发逐步开辟了煤自燃温度场无线网络监测预警技术的新领域^[3-4]。另外,在煤自燃预测技术方面也有了较大发展^[5-11]:

①标志气体分析法,依据煤氧复合作用学说及煤氧化实验,煤早期氧化阶段会产生CO、CO₂,并逐步产生H₂、H₂O、C_xH_y等气体来进行自燃火灾预测;②测温技术,根据煤被氧化产生热量使煤体温度渐变单调增高,实时监测温度以及及时获取自燃信息;③仿生气味监测,基于煤炭在逐步氧化过程中会随煤种的不同而产生表征性的烯烃来预测明火;④束管监测法,利用煤炭自燃过程中3个不同的阶段来表征煤是否自燃的信息;⑤磁力预测法,根据磁性物质存在的区域温度发生变化时,其磁化率、磁场强度也随之发生相应变化,通过测定磁场变化规律预测煤自燃;⑥粗糙集神经网络预测技术、支持向量机预测技术、代数神经网络预测技术等,都是通过获取煤层的自燃因素(温度、漏风量、浮煤厚度等)并根据一定的算法找出其中某一项的变化规律,进而整理出引起煤自燃时这些因素的变化规律。但这些研究方法有的需要大量实验,有的计算复杂,不能在现场对煤的自燃性进行预测。

利用熵权的可拓综合评价方法对采空区遗煤自燃危险性进行评价,无需大量的实验室工作,克服了以往评价方法预测过程中所选指标权重确定的主观性,预测过程计算简便,所得出的自燃危险性预测结果与实际情况基本一致,对于指导生产实际很有意义。

1 可拓学及其物元模型的建立

可拓学(extenics)是以广东工业大学的蔡文研究员为首的中国学者在1983年创立的,是用形式化模型研究事物拓展的可能性和开拓创新的规律与方法,并用于解决矛盾问题的科学。建立物元模型,通过各种变换去寻求事物的解是物元分析解决不相容问题的一般方法。在可拓学中,物元是以事物、特征及事物关于该特征的量值三者所组成的有序三元组,记为 $R = (\text{事物名称}, \text{特征}, \text{量值}) = (N, C, V)$,其是可拓学的逻辑细胞,设危险性评价问题为 P ,共有 m 个评价对象,可用物元表示为 R_1, R_2, \dots, R_m , n 个评价指标,即 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$,则此问题可以用物元表示为^[12-13]:

$$P = R \times r \quad R \in (R_1, R_2, \dots, R_m)$$

$$R = (N, C, V) = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n \end{bmatrix}$$

$$r = \begin{bmatrix} N_0, & c_1, & V_1 \\ & c_2, & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & V_n \end{bmatrix}$$

式中: R 为评价对象物元; r 为条件物元; V_i 为条件物元第 i 个特征的量值区间。

2 基于熵权的可拓综合评价模型的建立

熵权法是一种在综合考虑各因素提供信息量的基础上计算一个综合指标的数学方法。在信息论中,熵表示的是不确定性的量度。作为客观综合定权法,其主要根据各指标传递给评判者的信息量的大小来确定权重。

可拓综合评价模型是根据采空区煤自燃防治管理中积累的基本资料,把采空区的自燃危险性划分为3个等级:极易自燃、易自燃和安全^[14]。通过综合专家意见及现场实际经验确定出各等级物元特征的数据范围,再将评价对象的指标值代入各等级的物元中进行多指标评定,评定结果按其与各等级物元的综合关联度大小进行比较。综合关联度越大,说明评价对象与该危险性等级的符合程度越好,即危险性属于该等级^[13-16]。

1) 经典域 R_{0j} 与节域 R_D 的确定。令:

$$R_{0j} = (N_{0j}, C, V_{0j}) = \begin{bmatrix} N_{0j}, & c_1, & V_{0j1} \\ & c_2, & V_{0j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & V_{0jn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} N_{0j}, & c_1, & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2, & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix}$$

式中: N_{0j} 为所划分的第 j 个危险性等级; c_i 为危险性等级 N_{0j} 的特征(即评价指标); V_{0ji} 为 N_{0j} 关于特征 c_i 的量值范围,即各危险性等级关于对应的特征所取的数据范围,此为一经典域。

令:

$$R_D = (N_D, C, V_D) = \begin{bmatrix} N_D, & c_1, & V_{D1} \\ & c_2, & V_{D2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & V_{Dn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} N_D, c_1, <a_{D1} b_{D1}> \\ c_2, <a_{D2} b_{D2}> \\ \vdots \\ c_n, <a_{Dn} b_{Dn}> \end{bmatrix}$$

式中: N_D 为全体危险性等级; V_{Di} 为 N_D 关于 c_i 所取量值的范围, 即 N_D 的节域。

2) 待评物元的确定。对第 i 个评价对象 p_i , 把所测量得到的数据或分析结果用物元表示, 称为评价对象的待评物元。

$$R_i = (N_i, C, V_i) = \begin{bmatrix} N_i, c_1, v_{i1} \\ c_2, v_{i2} \\ \vdots \\ c_n, v_{in} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

式中: v_{ij} 为 N_i 关于特征 $c_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 的量值, 即评价对象的评价指标值。

3) 首次评价。对评价对象 p_i , 首先用“非满足不可的特征” c_k 的量值 v_{ik} 评价。若 $v_{ik} \notin V_{0jk}$, 则认为评价对象 p_i 不满足“非满足不可的条件”, 不予评价; 否则进入下一步骤。

4) 各特征的熵权的确定。在信息论中, 信息熵 $H(Y_j)$ 是系统无序程度的度量, 其定义为:

$$H(Y_j) = - \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad \text{其中: } 0 \ln 0 = 0 \quad (1)$$

式中 y_{ij} 为规范化的指标值,

$$y_{ij} = v_{ij} / \sum_{i=1}^m v_{ij} \quad (2)$$

综合评价中某项指标的指标值变异程度越大, 信息熵 $H(Y_j)$ 越小, 该指标提供的信息量越大, 其权系数也应越大; 反之, 该指标的权系数也应越小。因此, 可以根据各项指标值的变异程度, 利用信息熵这个工具, 计算出各指标的权系数——熵权。

熵权的计算过程如下:

① 求解输出熵 E_j

$$E_j = H(Y_j) / \ln m \quad (3)$$

② 求解指标的差异度 G_j

$$G_j = 1 - E_j, (1 \leq j \leq n) \quad (4)$$

③ 计算熵权 a_j

$$a_j = G_j / \sum_{j=1}^n G_j \quad (5)$$

5) 建立关联函数, 确定评价对象关于各危险等级的关联度。

$$K_j(v_{ki}) = \frac{\rho(v_{ki}, V_{0ji})}{\rho(v_{ki}, V_{Di}) - \rho(v_{ki}, V_{0ji})}$$

$$k = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中: v_{ki} 为第 k 个评价对象的第 i 个特征的量值; $\rho(v_{ki}, V_{0ji})$ 为点 v_{ki} 与区间 V_{0ji} 的距离,

$$\rho(v_{ki}, V_{0ji}) = \left| v_{ki} - \frac{a_{0ji} + b_{0ji}}{2} \right| - \frac{1}{2} (b_{0ji} - a_{0ji}) \quad (7)$$

6) 关联度的规范化。关联度的取值范围是整个实数域, 为了便于分析和比较, 将关联度进行规范化。

$$K'_j(v_{ki}) = \frac{K_j(v_{ki})}{\max_{1 \leq i \leq m} |K_j(v_{ki})|} \quad (8)$$

7) 评价对象综合关联度的计算。考虑各特征的权系数, 将规范化的关联度和权系数合成为综合关联度。

$$K_j(p_k) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K'_j(v_{ki}) \quad (9)$$

8) 危险性等级评定。若 $K_s(p_k) = \max_j K_j(p_k)$, 则评价对象 p_k 的危险性属于等级 S 。

3 采空区自燃危险性评价

传统的预防采空区自燃的方法是划分出自燃“三带”的大致范围, 而随着巷道采煤条件, 例如通风、推进度等因素的不断变化, 自燃“三带”也会随之改变, 煤矿不能直接判定某一区域是否存在自燃的风险, 给评价采空区自燃工作带来了一定的困难^[13-14]。为了简化评价采空区自燃危险的工作, 以某煤矿为例^[5], 将采空区自燃判定的指标设为: 距工作面的距离、氧气浓度、推进度、漏风强度和浮煤厚度。选取了8个样本进行评价, 原始数据见表1。

表1 判定指标的原始数据

样本	距工作面 距离/m	氧气浓度/ %	推进度/ m	漏风强度/ (m ³ /(s·m ²))	浮煤厚度/ m
1	80.35	9.98	2.10	12.00	0.034
2	91.65	6.77	2.10	5.60	0.033
3	73.00	0.55	1.00	2.50	0.035
4	71.00	0.49	1.00	2.33	0.036
5	45.40	1.66	0.26	3.20	0.023
6	4.72	19.34	0.40	2.80	0.031
7	4.71	18.23	0.30	2.70	0.032
8	75.00	0.42	1.00	3.18	0.038

1) 确定经典域和节域。根据自燃危险性的大小, 确定出极易自燃、易自燃和安全3个等级的经典域物元分别为:

$$R_{01} = \begin{bmatrix} N_{01}, c_1 <4, 50> \\ c_2 <18, 21> \\ c_3 <0, 0.5> \\ c_4 <2, 3> \\ c_5 <0.02, 0.03> \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} N_{02}, c_1 <50, 80> \\ c_2 <10, 18> \\ c_3 <0.5, 1.5> \\ c_4 <3, 4> \\ c_5 <0.03, 0.04> \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} N_{03}, c_1 <80, 100> \\ c_2 <1, 10> \\ c_3 <1.5, 3> \\ c_4 <4, 27> \\ c_5 <0.04, 0.07> \end{bmatrix}$$

节域物元为:

$$R_D = \begin{bmatrix} D, c_1 <0, 110> \\ c_2 <0, 22> \\ c_3 <0, 4> \\ c_4 <0, 30> \\ c_5 <0, 1> \end{bmatrix}$$

2) 确定待评物元:

$$R_1 = \begin{bmatrix} p_2, c_1 80.35 \\ c_2 9.98 \\ c_3 2.1 \\ c_4 12 \\ c_5 0.034 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} p_3, c_1 91.65 \\ c_2 6.77 \\ c_3 2.1 \\ c_4 5.6 \\ c_5 0.033 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} p_4, c_1 73 \\ c_2 0.55 \\ c_3 1 \\ c_4 2.5 \\ c_5 0.035 \end{bmatrix}, R_4 = \begin{bmatrix} p_5, c_1 71 \\ c_2 0.49 \\ c_3 1 \\ c_4 2.33 \\ c_5 0.036 \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} p_7, c_1 45.4 \\ c_2 1.66 \\ c_3 0.26 \\ c_4 3.2 \\ c_5 0.023 \end{bmatrix}, R_6 = \begin{bmatrix} p_8, c_1 4.72 \\ c_2 19.34 \\ c_3 0.4 \\ c_4 2.8 \\ c_5 0.031 \end{bmatrix},$$

$$R_7 = \begin{bmatrix} p_9, c_1 4.71 \\ c_2 18.23 \\ c_3 0.3 \\ c_4 2.7 \\ c_5 0.032 \end{bmatrix}, R_8 = \begin{bmatrix} p_{10}, c_1 75 \\ c_2 0.42 \\ c_3 1 \\ c_4 3.18 \\ c_5 0.038 \end{bmatrix}.$$

3) 首次评价。在该评价指标体系中,没有非满足不可的指标(特征)故该步可省略。

4) 确定各特征的熵权。将样本数据代入式(1)~(5)即可求出各指标的熵权系数为:

$$A = \{0.183, 0.465, 0.186, 0.159, 0.007\}.$$

5) 建立关联函数,计算关联度。根据式(6)和式(7),可计算各评价对象与各等级的关联度。

$$K_{p1} = \begin{bmatrix} -0.607 & -0.018 & 0.018 \\ -0.446 & -0.002 & 0.002 \\ -0.457 & -0.24 & 0.462 \\ -0.429 & -0.4 & 2 \\ -0.105 & 0.133 & -0.15 \end{bmatrix}$$

$$K_{p2} = \begin{bmatrix} -0.694 & -0.388 & 0.835 \\ -0.624 & -0.323 & 0.912 \\ -0.457 & -0.24 & 0.462 \\ -0.317 & -0.222 & 0.4 \\ -0.083 & 0.1 & -0.175 \end{bmatrix}$$

$$K_{p3} = \begin{bmatrix} -0.23 & 0.106 & -0.088 \\ -0.969 & -0.945 & -0.633 \\ -0.333 & 1 & -0.333 \\ 0.25 & -0.167 & -0.375 \\ 0.005 & 0.167 & -0.125 \end{bmatrix}$$

$$K_{p4} = \begin{bmatrix} -0.35 & 0.3 & -0.188 \\ -0.973 & -0.951 & -0.51 \\ -0.333 & 1 & -0.333 \\ 0.165 & -0.223 & -0.418 \\ -0.143 & 0.161 & -0.1 \end{bmatrix}$$

$$K_{p5} = \begin{bmatrix} 0.113 & -0.092 & -0.433 \\ -0.908 & -0.834 & 0.66 \\ 12 & -0.48 & -0.827 \\ -0.059 & 0.067 & -0.2 \\ 0.15 & -0.233 & -0.425 \end{bmatrix}$$

$$K_{p6} = \begin{bmatrix} 0.18 & -0.906 & -0.941 \\ 1.015 & -0.335 & -0.778 \\ 0.333 & -0.2 & -0.733 \\ 0.077 & 0.067 & -0.3 \\ -0.031 & 0.033 & -0.225 \end{bmatrix}$$

$$K_{p7} = \begin{bmatrix} 0.178 & -0.906 & -0.941 \\ 0.065 & -0.058 & -0.686 \\ 2 & -0.4 & -0.8 \\ 0.125 & -0.1 & -0.325 \\ -0.059 & 0.067 & -0.2 \end{bmatrix}$$

$$K_{p8} = \begin{bmatrix} -0.417 & 0.167 & -0.125 \\ -0.977 & -0.958 & -0.58 \\ -0.333 & 1 & -0.333 \\ 0.054 & 0.06 & -0.205 \\ -0.174 & 0.056 & -0.05 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p7} = \begin{bmatrix} 0.890 & -1 & -1 \\ 0.325 & -0.064 & -0.729 \\ 1 & -0.442 & -0.850 \\ 0.625 & -0.110 & -0.345 \\ -0.295 & 0.074 & -0.213 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p8} = \begin{bmatrix} -0.427 & 0.167 & -0.216 \\ -1 & -0.958 & -1 \\ -0.341 & 1 & -0.574 \\ 0.055 & 0.06 & -0.353 \\ -0.178 & 0.056 & -0.086 \end{bmatrix}$$

6) 关联度的规范化。根据式(8)可将关联度规范化为:

$$K'_{p1} = \begin{bmatrix} -1 & -0.045 & 0.009 \\ -0.735 & -0.005 & 0.001 \\ -0.753 & -0.6 & 0.231 \\ -0.707 & -1 & 1 \\ -0.173 & 0.333 & -0.075 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p2} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0.916 \\ -0.899 & -0.832 & 1 \\ -0.659 & -0.619 & 0.507 \\ -0.457 & -0.572 & 0.439 \\ -0.120 & 0.258 & -0.192 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p3} = \begin{bmatrix} -0.237 & 0.106 & -0.139 \\ -1 & -0.945 & -1 \\ -0.344 & 1 & -0.526 \\ 0.258 & -0.167 & -0.592 \\ 0.005 & 0.167 & -0.197 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p4} = \begin{bmatrix} -0.360 & 0.3 & -0.369 \\ -1 & -0.951 & -1 \\ -0.342 & 1 & -0.653 \\ 0.170 & -0.223 & -0.820 \\ -0.085 & 0.161 & -0.196 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p5} = \begin{bmatrix} 0.009 & -0.110 & -0.524 \\ -0.076 & -1 & 0.798 \\ 1 & -0.576 & -1 \\ -0.005 & 0.080 & -0.242 \\ 0.013 & -0.279 & -0.514 \end{bmatrix}$$

$$K'_{p6} = \begin{bmatrix} 0.177 & -1 & -1 \\ 1 & -0.370 & -0.827 \\ 0.325 & -0.221 & -0.779 \\ 0.076 & 0.074 & -0.319 \\ -0.031 & 0.036 & -0.239 \end{bmatrix}$$

7) 计算评价对象的综合关联度。根据式(9), 可得各评价对象的综合关联度分别为:

$$K(p_1) = A \cdot K'_{p1} = (-0.778 \quad -0.279 \quad 0.204)$$

$$K(p_2) = A \cdot K'_{p2} = (-0.797 \quad -0.774 \quad 0.796)$$

$$K(p_3) = A \cdot K'_{p3} = (-0.531 \quad -0.259 \quad -0.684)$$

$$K(p_4) = A \cdot K'_{p4} = (-0.568 \quad -0.236 \quad -0.786)$$

$$K(p_5) = A \cdot K'_{p5} = (0.152 \quad -0.581 \quad 0.047)$$

$$K(p_6) = A \cdot K'_{p6} = (0.570 \quad -0.384 \quad -0.765)$$

$$K(p_7) = A \cdot K'_{p7} = (0.597 \quad -0.312 \quad -0.577)$$

$$K(p_8) = A \cdot K'_{p8} = (-0.599 \quad -0.219 \quad -0.668)$$

评价自燃结果与实际自燃结果对比情况见表2。

表2 评价自燃结果与实际自燃情况对比

样本	评价自燃结果	实际自燃情况
1	安全	安全
2	安全	安全
3	易自燃	安全
4	易自燃	易自燃
5	极易自燃	极易自燃
6	极易自燃	极易自燃
7	极易自燃	极易自燃
8	易自燃	易自燃

8) 评价结果分析。采用熵权理论对5个评价指标的权重进行了客观计算,避免了以往权重分析过程中的主观干扰。从集合 $A = \{0.183, 0.465, 0.186, 0.159, 0.007\}$ 可以看出,对于影响采空区自

燃危险性的重要程度由大到小依次为:氧气浓度、工作面推进度、距工作面的距离、漏风强度、浮煤厚度。

评价结果中仅样本3的评价结果为易自燃,而实际情况为安全,其他7个评价结果均与实际自燃情况相符。从实际情况和评价结果可以看出,距工作面的距离大于80 m时自燃危险性随着距离的增大而降低;而氧气浓度相对最小的3、4号和8号样本的自燃危险性却为易自燃,说明氧气浓度虽然是影响采空区自燃危险性最重要的指标,但也不能孤立分析;当工作面推进度低于1 m时采空区自燃危险性随着推进度的降低有增高的趋势;根据关联度的大小,漏风强度最大的1号样本的安全性要低于2号样本的安全性,综合其他样本的漏风数据,说明当漏风强度达到一定值时随着漏风强度的增大,安全性越小;浮煤厚度虽然对自燃危险性有一定的影响,但并不能说明浮煤厚度越小安全性越高。

评价结果与实际情况相符度高,可以作为煤矿判断采空区自燃情况的方法,同时对煤矿自燃“三带”的划分提供了一定的数据基础。

4 结论

1) 采用熵权理论分析评价指标的权重,能有效避免分析过程中的主观因素影响,从而得出更客观的权重系数。

2) 煤矿自燃“三带”的划分会随着采煤工作的进行不断变化,因此工作人员不能随时判定采空区的自然危险性。而熵权可拓综合评价方法能够综合利用现场的实际经验快速判定出某区域的自燃危险性,计算简单、准确,省时省力。

3) 熵权可拓综合评价法可评价单层次的评价指标体系,也适用于多层次的评价指标体系,适宜计算机求解,能在现场迅速解算,便于推广,对于实际生产具有指导意义。

参考文献:

[1] 刘爱华,蔡康旭.煤自然发火预报的研究及软件的开发

[J].煤炭学报,2007,32(7):724-728.

- [2] 邓军,肖旻,陈晓坤,等.矿井火灾多源信息融合预警方法的研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(4):638-643.
- [3] 陈欢,杨永亮.煤自燃预测技术研究现状[J].煤矿安全,2013,44(9):194-197.
- [4] 王建国,田水承,董正坤.“三软”煤层综放工作面自然发火防治技术研究[J].矿业安全与环保,2014,41(2):61-63.
- [5] 肖旻,马砺,王振平,等.煤自燃指标气体的吸附与浓缩规律[J].煤炭学报,2007,32(10):1014-1018.
- [6] 侯媛彬.基于RSNN的煤自燃预测方法[J].信息与控制,2004,33(1):93-96.
- [7] 杜振宇,杨胜强,王军,等.基于可拓优度的矿井火灾安全评价方法[J].矿业安全与环保,2013,40(1):107-110.
- [8] 高原,覃木广,李明建.基于支持向量机的采空区遗煤自燃预测分析[J].煤炭科学技术,2010,38(2):50-54.
- [9] 文虎.综放工作面采空区煤自燃过程的动态数值模拟[J].煤炭学报,2002,27(1):54-58.
- [10] 肖旻,王振平,马砺,等.煤自燃指标气体与特征温度的对应关系研究[J].煤炭科学技术,2008,36(6):47-51.
- [11] 何萍,王飞宇,唐修义,等.煤氧化过程中气体的形成特征与煤自燃指标气体选择[J].煤炭学报,1994,19(6):635-643.
- [12] 杨玉中,张强.煤矿运输安全性的可拓综合评价[J].北京理工大学学报,2007,27(2):184-188.
- [13] 杨玉中,吴立云,高永才.煤与瓦斯突出危险性评价的可拓方法[J].煤炭学报,2010,35(S0):100-104.
- [14] 王继仁,邓存宝,单亚飞,等.煤的自燃倾向性新分类方法[J].煤炭学报,2008,33(1):47-50.
- [15] 刘松,蒋曙光,王东江,等.采空区自燃“三带”变化规律研究[J].煤炭科学技术,2011,39(4):69-73.
- [16] 余明高,常绪华,贾海林,等.基于Matlab采空区自燃“三带”的分析[J].煤炭学报,2010,35(4):601-604.

(责任编辑:李琴)