

基于DTW的瓦斯爆炸灾害风险模式识别

李润求, 施式亮, 罗文柯, 伍爱友

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:以煤矿瓦斯爆炸灾害防控为目的, 构建了瓦斯爆炸灾害风险模式识别指标体系, 提出了以指标含义与值域设置风险模式类别分界点的区间线性化数据规范方法, 减少了计算过程中的信息量损失. 通过区间数方法对指标进行赋权后, 应用动态时间弯曲算法(DTW), 以指标风险模式类别分界点为基础形成了多个加权参考序列, 并将待识别样本转换成待识别加权序列, 通过待识别加权序列与加权参考序列的最短动态弯曲距离获得待识别样本的风险模式类别, 建立了基于DTW的煤矿瓦斯爆炸灾害风险模式识别模型. 算例结果符合实际, 该方法对瓦斯爆炸灾害风险模式具有良好的识别能力.

关键词: 瓦斯爆炸; 风险; 模式识别; 动态时间弯曲; 煤矿

中图分类号: TD712.7

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2014)03-0016-05

Research on patter recognition of gas explosion disaster risk based on dynamic time warping in coal mines

LI Runqiu, SHI Shiliang, LUO Wenke, WU Aiyou

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: For the prevention and control of gas explosion disaster risk in the coal mine, the risk index system was established to patter recognition of gas explosion. Interval linear data normalization method was put forward to reduce the information loss in the process of computing by using the risk patter cut-off of indexes. The risk index was weighted with interval data of multiple comparison method. According to dynamic time warping (DTW), the 5 weighted reference sequence was constructed by using the indexes risk patter cut-off which was normalized, and the weighted sequence was constructed to be identified for the unknown risk patter sample. And then, disaster risk pattern recognition model was established based on DTW which obtaining risk pattern by the shortest dynamic time warping distance of the weighted reference sequence and to be identified weighted sequence. The pattern recognition example was gave that based on 14 indicators of gas explosion disaster risk, and the risk identification results were in good agreement with the actual situation. Results show that, DTW model of risk patter recognition has good identification ability for explosion disaster risk model, which will be a new way to study the pre-control of gas explosion disaster risk in coal mines.

Key words: gas explosion; risk; patter recognition; dynamic time warping (DTW); coal mine

煤矿井下生产系统是由人、机、环境组成的时空耦合的复杂动态系统, 其灾害因素多且具有动态性、随机性和模糊性, 而尤以瓦斯爆炸灾害严重制

约了我国煤炭工业的健康发展. 准确识别灾害风险并采取有效措施防控瓦斯爆炸灾害, 对以地下开采为主的我国煤炭工业生产具有现实意义.

收稿日期: 2014-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51274100); 湖南省教育厅科学研究资助项目(14C0424; 14B058); 湖南省科技厅计划资助项目(2012FJ4268)

通信作者: 李润求(1968-), 男, 湖南娄底人, 博士, 高级工程师, 研究方向: 矿山安全、安全管理工程以及计算机应用. E-mail: lirq_hn@sina.com

动态时间弯曲(Dynamic Time Warping, DTW)也称动态时间规整^[1,2],是语音识别中较为经典的一种算法,它以时间序列方式描述输入模板和参考模板,通过搜寻模板之间的相似特征,以及压缩、扩张或适时转换某些向量以获得它们之间扭曲代价最小的弯曲路径进行匹配. DTW 在时间序列数据挖掘与模式识别等方面有较广泛的应用,如文字与图像识别^[3,4]、车辆分类^[5]、故障诊断^[6]及其他模式识别^[7,8]等均取得了很好的效果. 笔者将 DTW 算法引入到煤矿瓦斯爆炸灾害风险模式识别中,提出了以指标风险等级分界点设置为基础的区间线性化数据规范化方法,通过区间数方法^[9-11]对指标赋权,根据瓦斯爆炸灾害风险指标体系建立灾害模式类别的多个加权参考序列,并将待识别的样本数据构成待识别加权序列,通过待识别加权序列分别与各个模式类别的加权参考序列的比较,获得与每个加权参考序列的最短动态弯曲距离,利用序列模式匹配的相似度来获得待识别样本的风险模式类别.

1 煤矿瓦斯爆炸灾害风险指标体系

1.1 瓦斯爆炸灾害风险指标

由于煤矿安全生产自身的特殊性和井下作业条件的复杂性,煤矿生产系统是人、机、环境组成的时空耦合的复杂动态系统,进行瓦斯爆炸灾害风险模式识别首先须建立科学的风险指标体系. 根据国内学者长期的研究^[12,13]和煤矿安全生产实际,选

取通风设施设备(X_{01})、监测监控系统(X_{02})、机电设备(X_{03})、防护设施(X_{04})、通讯设施(X_{05})、煤层瓦斯含量(X_{06})、瓦斯涌出量(X_{07})、风量供需比(X_{08})、瓦斯浓度(X_{09})、瓦斯抽采(X_{10})、煤层坚固性系数(X_{11})、煤层透气性系数(X_{12})、技术人员配备(X_{13})、安全教育与培训(X_{14})、安全制度与执行(X_{15})、安全科技与投入(X_{16})等16项指标作为瓦斯爆炸灾害风险指标.

在上述16项风险指标中,部分指标本身具有综合属性,如技术人员配备(X_{13})、安全制度与执行(X_{15})、安全科技与投入(X_{16})等,由100分制评分方式给出;有些指标如煤层瓦斯含量(X_{06})、风量供需比(X_{08})等则要根据灾害机理或指标的物理化学属性以及有关规定等确定其合理的取值范围.

1.2 风险模式类别

依据常用瓦斯灾害风险等级划分,给定煤矿瓦斯灾害模式类别的评语集 $V = \{“不安全”; “较不安全”; “一般安全”; “较安全”; “安全”\}$, 对应于等级向量 $U = (1, 2, 3, 4, 5)$. 根据瓦斯爆炸灾害模式类别、指标的意义和取值范围与取值原则,同时也应对指标进行风险模式类别(风险等级)划分.

目前对指标模式类别(风险等级)的划分,基本上是按指标取值范围以区间方式划分,这种按划分方式在计算过程中会引起指标信息量的大量损失. 为此,笔者提出根据指标含义和取值范围设置指标的模式类别分界点,以便在计算过程中尽可能减少信息量的损失. 各指标的模式类别分界点划分如表1.

表1 指标风险模式类别分界点

模式类别	类别	X_{01}	X_{02}	X_{03}	X_{04}	X_{05}	X_{06}	X_{07}	X_{08}	X_{09}	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
	向量	/分	/分	/分	/分	/分	$/(m^3/t)/(m^3/t)$	/%	/%	/分	$/(m^2/(MPa^2 \cdot d))$	/分	/分	/分	/分	/分	
不安全	1	65	65	65	65	65	10.0	10.0	90	0.9	65	0.3	0.1	65	65	65	65
较不安全	2	75	75	75	75	75	7.0	8.0	92	0.8	75	0.5	0.5	75	75	75	75
一般安全	3	85	85	85	85	85	5.0	6.0	95	0.7	85	0.8	1.0	85	85	85	85
较安全	4	90	90	90	90	90	4.0	5.0	98	0.6	90	1.0	5.0	90	90	90	90
安全	5	95	95	95	95	95	2.0	4.0	100	0.5	95	1.2	10.0	95	95	95	95

1.3 指标数据的规范化

由于指标数据的量纲、取值范围以及意义等不同,因此,根据前述指标风险模式类别分界点的设置,笔者提出通过区间线性化方法建立新的数据规范化方法. 根据表1,每项指标由风险模式类别分界点构成了多个取值区间,则第 i 个指标的指标值

x_i 的规范化按式(1)进行.

$$x'_i = \begin{cases} u_{i(k)}, & x_i \leq x_{i(k)}; \\ u_{i(k)} + (u_{i(k+1)} - u_{i(k)}) \times \frac{x_i - x_{i(k)}}{x_{i(k+1)} - x_{i(k)}}; & x_{i(k)} < x_i \leq x_{i(k+1)}; \\ u_{i(k+1)}, & x_{i(k+1)} \leq x_i. \end{cases} \quad (1)$$

式中： $x_{i(k)}, x_{i(k+1)} (x_{i(k)} < x_{i(k+1)})$ ：指标的风险模式类别分界点， $k = 1, 2, \dots$ ； $u_{i(k)}, u_{i(k+1)} (u_{i(k)} \neq u_{i(k+1)})$ ：风险模式类别分界点 $x_{i(k)}, x_{i(k+1)}$ 对应的风险模式类别向量， $i = 1, 2, \dots, 14$ 。

从表 1 中可以看出，既有正向指标也有逆向指标，而式(1)的区间线性化方法对正向和逆向指标均适用，且以区间线性化方式进行指标数据的规范化，减少了指标信息量的损失。

1.4 指标权重的确定方法

煤矿瓦斯爆炸灾害风险指标权重的确定通过对指标进行两两比较建立区间数判断矩阵，应用区间特征根法计算权向量^[12,13]。对上述瓦斯爆炸灾害风险指标进行两两比较，构成互补的区间数判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，($i, j = 1, 2, \dots, n, n = 14$)，其中 $a_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$ ($a_{ij}^- \leq a_{ij}^+$)，且 $a_{ji} = [1/a_{ij}^+, 1/a_{ij}^-]$ 。将 A 分解为 2 个矩阵 $A^- = (a_{ij}^-)_{n \times n}$ 和 $A^+ = (a_{ij}^+)_{n \times n}$ ，分别求出 A^-, A^+ 的最大特征值 λ^-, λ^+ 及对应的正分量的归一化特征向量 $e^- = (e_1^-, e_2^-, \dots, e_n^-)^T, e^+ = (e_1^+, e_2^+, \dots, e_n^+)^T$ 。令：

$$\begin{cases} c = [\sum_{j=1}^n (1 / \sum_{i=1}^n a_{ij}^+)]^{1/2}; \\ d = [\sum_{j=1}^n (1 / \sum_{i=1}^n a_{ij}^-)]^{1/2}. \end{cases} \quad (2)$$

则 $\bar{W} = (ce^-, de^+) = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n)$ 为 A 对应的特征向量，然后通过中心区间形式计算指标的重要性：

$$\begin{cases} w_i = (\bar{w}_i^- + \bar{w}_i^+) / 2; \\ w'_i = (\bar{w}_i^+ - \bar{w}_i^-) / 2. \end{cases} \quad (3)$$

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 即为指标相对于评估目标的权重向量， $W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)$ 可称为权重的不确定性。

2 DTW 风险模式识别模型

2.1 DTW 基本原理

DTW 采用动态规划原理对样本的相似特征进

行非线性匹配，得到样本之间的最短距离，这个最短距离即为样本间的相似性尺度，当样本之间的相似性尺度越小表明样本的匹配程度越好^[1-4]。

设有两个序列 $F = [f_1, f_2, \dots, f_m]$ 和 $R = [r_1, r_2, \dots, r_n]$ ，按式(4) 构造一个 m 行 n 列的距离矩阵 $d = (d_{ij})_{m \times n}$ ：

$$d_{ij} = (f_i - r_j)^2. \quad (4)$$

式中： $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; d_{ij}$ ：2 个序列中 f_i 与 r_j 之间的距离。

由距离矩阵 d 通过式(5) 构成 m 行 n 列的累积距离矩阵 $D = (D_{ij})_{m \times n}$ ：

$$\begin{cases} D_{1,1} = d_{1,1}; \\ D_{i,j} = d_{i,j} + \min(d_{i-1,j-1}, d_{i,j-1}, d_{i-1,j}). \end{cases} \quad (5)$$

在矩阵 D 中所有由端点 $D_{1,1}$ 到达 $D_{m,n}$ 的所有路径 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_p)$ ($\max(m, n) \leq p \leq m + n - 1$) 称为 F 序列与 R 序列的动态时间弯曲路径，其最优弯曲路径可表示为

$$z_k = \begin{cases} D_{1,1} & i = 1, j = 1; \\ \min(D_{i-1,j-1}, D_{i-1,j}, D_{i,j-1}) & 1 < i < m, 1 < j < n; \\ D_{m,n} & i = m, j = n. \end{cases} \quad (6)$$

式中： $k \in p$ 。

实质上，由式(5) 可知，累积距离矩阵 D 中 $D_{m,n}$ 即为 2 个序列的最短动态时间弯曲距离，它可以看作是这 2 个序列的相似性表示，当 2 个序列越相似时其值越接近于 0；当 2 个序列差异愈大时其值越大。

2.2 瓦斯爆炸灾害风险模式识别

根据 DTW 算法的基本原理，将已知风险类别的瓦斯爆炸灾害风险样本数据转化为参考序列，将待评估样本转化为待识别序列，即可以应用 DTW 算法对序列间的比较计算最短弯曲距离来获得待识别样本的模式类别。基于 DTW 的瓦斯爆炸爆炸灾害风险模式识别基本流程如图 1 所示。

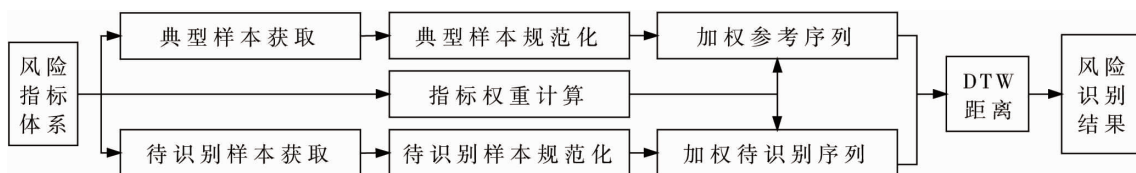


图 1 基于 DTW 的瓦斯爆炸灾害风险模式识别系统

1) 确定煤矿瓦斯爆炸灾害风险模式识别的指标体系和模式类别,设置指标的模式类别分界点,根据指标模式类别分界点建立模式类别参考样本,并对参考样本数据进行规范化.

2) 确定风险指标的权重,并对规范化后的参考样本分别赋权计算,形成若干模式类别的加权参考序列.

3) 对待识别样本进行规范化并赋权计算,形成瓦斯爆炸灾害风险待识别加权序列.

4) 将待识别的加权序列分别与各个模式类别的加权参考序列进行DTW计算,获得与每个参考

序列的最短距离,其中与某个参考序列距离最短的模式类别即为待识别样本的模式类别.

3 算例

3.1 参考序列构建

根据瓦斯爆炸灾害风险指标体系和表1给出的指标风险模式类别分界点设置,以及式(1)的原始数据规范化方法,分别取各指标的风险模式类别分界点构建规范化后的瓦斯爆炸灾害风险模式识别参考序列,如表2. V 是参考序列的模式类别, U 是模式类别向量.

表2 瓦斯爆炸灾害风险模式类别参考序列

No	X_{01}	X_{02}	X_{03}	X_{04}	X_{05}	X_{06}	X_{07}	X_{08}	X_{09}	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	V	U
F'_1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	不安全	1
F'_2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	较不安全	2
F'_3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	一般安全	3
F'_4	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	较安全	4
F'_5	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	安全	4

根据前述指标权重确定方法,对瓦斯爆炸灾害风险指标进行两两比较建立区间数判断矩阵,通过区间特征根法计算获得权向量 $W = (0.09, 0.09, 0.06,$

$0.02, 0.03, 0.09, 0.06, 0.08, 0.09, 0.10, 0.01, 0.01, 0.06, 0.04, 0.09, 0.08)$, 对表2的参考序列进行赋权计算获得5个模式识别的加权参考序列,如表3.

表3 瓦斯爆炸灾害风险模式类别加权参考序列

No	X_{01}	X_{02}	X_{03}	X_{04}	X_{05}	X_{06}	X_{07}	X_{08}	X_{09}	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
F_1	0.09	0.09	0.06	0.02	0.03	0.09	0.06	0.08	0.09	0.10	0.01	0.01	0.06	0.04	0.09	0.08
F_2	0.18	0.18	0.12	0.04	0.06	0.18	0.12	0.16	0.18	0.20	0.02	0.02	0.12	0.08	0.18	0.16
F_3	0.27	0.27	0.18	0.06	0.09	0.27	0.18	0.24	0.27	0.30	0.03	0.03	0.18	0.12	0.27	0.24
F_4	0.36	0.36	0.24	0.08	0.12	0.36	0.24	0.32	0.36	0.40	0.04	0.04	0.24	0.16	0.36	0.32
F_5	0.45	0.45	0.30	0.10	0.15	0.45	0.30	0.40	0.45	0.50	0.05	0.05	0.30	0.20	0.45	0.40

3.2 待识别样本模式识别

根据瓦斯爆炸灾害风险指标体系,获得10个样本数据作为待识别样本,按照参考序列构建方法

对样本数据进行规范化,形成加权的待识别序列,如表4,其中, V 为样本风险模式类别, U 为对应的模式类别向量.

表4 瓦斯爆炸灾害风险模式待识别加权序列

No	X_{01}	X_{02}	X_{03}	X_{04}	X_{05}	X_{06}	X_{07}	X_{08}	X_{09}	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	V	U
R_1	0.11	0.11	0.07	0.02	0.04	0.09	0.06	0.16	0.27	0.10	0.01	0.01	0.07	0.05	0.11	0.10	不安全	1
R_2	0.17	0.16	0.07	0.03	0.04	0.16	0.11	0.20	0.18	0.13	0.01	0.02	0.17	0.05	0.12	0.14	较不安全	2
R_3	0.18	0.16	0.08	0.08	0.05	0.17	0.29	0.08	0.27	0.27	0.02	0.03	0.23	0.05	0.14	0.34	较不安全	2
R_4	0.29	0.27	0.29	0.06	0.05	0.42	0.15	0.16	0.45	0.19	0.02	0.03	0.08	0.04	0.10	0.27	一般安全	3
R_5	0.34	0.27	0.20	0.05	0.11	0.38	0.11	0.20	0.36	0.16	0.03	0.03	0.19	0.08	0.26	0.29	一般安全	3
R_6	0.21	0.32	0.24	0.08	0.12	0.13	0.12	0.12	0.41	0.50	0.03	0.03	0.13	0.09	0.32	0.32	一般安全	3
R_7	0.29	0.45	0.30	0.06	0.15	0.09	0.15	0.32	0.24	0.35	0.04	0.03	0.20	0.13	0.45	0.40	较安全	4
R_8	0.36	0.45	0.30	0.10	0.15	0.23	0.18	0.32	0.36	0.38	0.04	0.03	0.30	0.16	0.45	0.32	较安全	4
R_9	0.45	0.45	0.30	0.10	0.15	0.09	0.30	0.17	0.45	0.41	0.05	0.03	0.30	0.20	0.36	0.32	较安全	4
R_{10}	0.45	0.45	0.30	0.10	0.15	0.41	0.30	0.39	0.45	0.50	0.05	0.04	0.30	0.20	0.45	0.40	安全	5

按照 DTW 模式识别流程,将每一个待识别加权序列逐个与加权参考序列比较计算序列间的动态时间弯曲距离,如表 5,其中 D^i 为与 5 个参考序列的动态时间弯曲距离, U' 为识别的模式向量, U 为实际类别向量.从表 5 可知,10 个待识别的样本数据通过基于 DTW 算法的模式识别结果与实际一致.

表 5 瓦斯爆炸灾害风险模式识别结果

No	D^1	D^2	D^3	D^4	D^5	U'	U
R_1	0.20	0.23	0.47	0.74	1.01	1	1
R_2	0.24	0.13	0.36	0.63	0.91	2	2
R_3	0.49	0.32	0.34	0.53	0.78	2	2
R_4	0.65	0.45	0.37	0.47	0.68	3	3
R_5	0.63	0.38	0.24	0.35	0.58	3	3
R_6	0.71	0.48	0.35	0.40	0.60	3	3
R_7	0.81	0.57	0.39	0.36	0.52	4	4
R_8	0.89	0.62	0.37	0.21	0.33	4	4
R_9	0.92	0.67	0.47	0.37	0.45	4	4
R_{10}	1.10	0.82	0.54	0.26	0.04	5	5

基于 DTW 算法的瓦斯爆炸灾害风险模式识别是通过参考序列与待识别序列的动态弯曲距离获得待识别样本的模式类别,其参考序列的不同,其序列间的最短弯曲距离自然不同,识别结果也有可能不同.例如,以 F_3 和 R_7 为参考序列, R_6 为待识别序列,获得最短累积距离分别为 0.35 和 0.12,根据参考序列的模式类别,则将归于与 R_7 同一类,即模式类别为“较安全”,与实际的“一般安全”风险类别不一致.因此,参考序列的合理设置是 DTW 模式识别的关键,参考序列必须涵盖所有的模式类别,但同时,过多的参考序列又影响识别的结果,而以指标的风险模式类别分界点为基础构建参考序列就可以达到满意的效果.

4 结论

1) 以风险指标模式类别分界点为基础的区间线性化方法,在进行数据规范时能有效减少计算过程中的风险指标信息量的损失.

2) 区间数代替点值的方法确定风险指标权重,更符合主观比较的模糊性和不确定性,能较好地保证风险指标权重的客观性和准确性.

3) 通过以指标模式类别分界点建立加权参考序列的 DTW 模式识别方法,对煤矿瓦斯爆炸灾害

风险有良好的识别能力,同时还能减少计算量. DTW 模式识别方法为煤矿瓦斯灾害防控提供了新思路 and 重要参考.

参考文献:

- [1] 林遂芳,张海英,潘永湘.基于 DTW 和 LVQ 网络混合模型的语音识别方法[J].系统仿真学报,2005,17(8):1959-1965.
- [2] 翁颖钧,朱仲英.基于动态时间弯曲的时序数据聚类算法的研究[J].计算机仿真,2004,21(3):37-40.
- [3] Lladós J, Sánchez G, Karatzas D. Rotation invariant hand-drawn symbol recognition based on a dynamic time warping model[J]. International Journal on Document Analysis and Recognition, 2010,13(3):229-241.
- [4] Geppener V V, Simonchik K K, Haidar A S. Design of speaker verification systems with the use of an algorithm of Dynamic Time Warping(DTW)[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2005,15(4):470-479.
- [5] 傅惠,徐建冈.基于动态时间弯曲的多模板匹配车型分类[J].控制理论与应用,2008,25(3):529-532.
- [6] 牛征,牛玉广,刘吉臻.基于动态时间归整技术的电站过程故障诊断方法[J].动力工程,2006,26(3):396-399.
- [7] 朱世松,汪云甲,魏连江.基于时间序列相似性度量的瓦斯报警信号辨识[J].中国矿业大学学报,2012,41(3):474-480.
- [8] 汪可,杨丽君,廖瑞金.动态时间规整算法在局部放电模式识别中的应用[J].重庆大学学报,2011,34(12):54-60.
- [9] 翟晓燕,张新政.群决策中区间数判断矩阵的集结及权重的计算[J].系统工程,2005,23(9):103-107.
- [10] 周毅,赵晓刚.基于区间层次分析法的石油库防火防爆安全评价[J].中国安全科学学报,2011,21(12):58-63.
- [11] 曹树刚,王艳平,刘延保,等.基于危险源理论的煤矿瓦斯爆炸风险评价模型[J].煤炭学报,2006,31(4):470-474.
- [12] 施式亮,李润求.煤矿瓦斯爆炸事故演化危险性评价的 AHP-GT 模型及应用[J].煤炭学报,2010,35(7):1137-1141.
- [13] 韩玉建,陈建宏,周智勇.基于心态指标的煤矿瓦斯爆炸区间数模糊评价[J].中国安全科学学报,2010,20(2):83-88.