陈建平,董军,吕相伟.基于 PCA-Fisher 判别分析模型的煤与瓦斯突出危险等级预测方法研究[J]. 矿业安全与环保,2018,45(3): 61-66.

文章编号:1008-4495(2018)03-0061-06

# 基于 PCA-Fisher 判别分析模型的煤与瓦斯突出 危险等级预测方法研究

## 陈建平,董 军,吕相伟

(辽宁工程技术大学 矿业学院,辽宁 阜新 123000)

摘要:为了提高煤与瓦斯突出预测精度,选取瓦斯含量、瓦斯压力、瓦斯放散初速度等 11 个因素作 为判别指标,将煤与瓦斯突出强度分为无突出、小型突出、中型突出、大型突出 4 个等级。利用贵州黔 西北煤矿资料中的 28 组数据作为训练学习样本,建立了煤与瓦斯突出危险等级预测的 PCA-Fisher 判 别分析模型,再利用资料中其余 6 组数据作为预测样本,对该模型进行检验和应用,并与 BP 神经网络 模型和 Fisher 判别模型的判别结果进行比较。结果表明:PCA-Fisher 判别模型具有更高的准确性和可 靠性,可以对煤与瓦斯突出危险等级进行有效预测。

关键词:瓦斯含量;瓦斯压力;煤与瓦斯突出;PCA-Fisher 判别分析;BP 神经网络;危险等级预测 中图分类号:TD713<sup>+</sup>.2 文献标志码:B

# Research on Risk Level of Coal and Gas Outburst Prediction Based on PCA-Fisher Discriminant Analysis Model

CHEN Jianping, DONG Jun, LYU Xiangwei

(College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of coal and gas outburst prediction. 11 factors, including gas content, gas pressure and initial velocity of gas, were selected as the discriminant indicators. The outburst intensity of coal and gas was divided into four grades: no outburst, small outburst, medium outburst and large outburst. 28 sets of data of Qianxibei Coal Mine in Guizhou were used as training samples to establish a PCA-Fisher discriminant analysis model for risk level prediction of coal and gas outburst. Using the remaining 6 sets of data as a prediction sample to test and apply the model, the discriminant result was compared with that of BP neural network model and Fisher discriminant model. The results showed that PCA-Fisher discriminant model has higher accuracy and reliability, it can predict the risk level of coal and gas outburst effectively.

Keywords:gas content;gas pressure;coal and gas outburst;PCA-Fisher discriminant analysis;BP neural network;risk level prediction

煤与瓦斯突出是煤层中存储的破碎的煤岩和瓦 斯的失稳释放,表现为在极短的时间内向生产空间 抛出大量煤岩和瓦斯,并有可能诱发瓦斯爆炸,产生 更大的灾难<sup>[1]</sup>。煤与瓦斯突出已成为我国煤矿开采 中的重要灾害之一,并随着煤矿开采深度的逐年加 大和开采机械化水平的不断提高,呈现突出矿井数 量逐年增多和突出次数逐年增加的趋势。煤与瓦斯 突出严重威胁着煤矿生产安全,准确预测和防治突 出的发生,对提高煤矿企业的社会效益和经济效益 具有重要意义<sup>[2]</sup>。目前,我国煤与瓦斯突出危险等 级预测和评判多采用距离判别分析法<sup>[3]</sup>、BP 神经网 络<sup>[4]</sup>、支持向量机<sup>[5]</sup>、Fisher 判别分析<sup>[6]</sup>等方法。由 于导致煤与瓦斯突出发生的因素极为复杂,突出的 因素和突出事件之间具有不确定性、非线性的关系, 以往的预测方法主要采用回归分析方法,其缺点是 只考虑影响煤与瓦斯突出的个别因素,没有全面考 虑影响突出因素与瓦斯突出之间复杂的非线性关 系<sup>[7]</sup>。笔者提出 PCA-Fisher 判别分析法,首先利用

收稿日期:2017-05-23;2017-09-07 修订

作者简介:陈建平(1972—),男,山西保德人,博士,副教授,主要从事环境工程、地质工程等方面的教学与科研工作。E-mail: chenjianp@ tom. com。

PCA 法对各因素的信息进行提炼,消除各因素间信息叠加造成的影响并确立新的因素指标,再利用 Fisher 判别法对新指标分类,从而提高预测精度。

# 1 基本理论

#### 1.1 PCA 的基本原理

主成分分析(PCA)又称作主分量分析,是一种 处理高维数据的方法。其通过投影的方法,将原本 高维数据的多个相关变量以尽可能少的信息损失为 原则进行提取优化,转化成少数几个不相关变 量<sup>[8-9]</sup>。将原始数据变量矩阵 X 的 n 个变量  $X_1$ ,  $X_2, \dots, X_n$  作为线性组合 F = AX,如式(1)和式(2) 所示:

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \\ F_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \\ \vdots \\ F_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n \end{cases}$$
(1)

 $Var(F_{1}) + Var(F_{2}) + \dots + Var(F_{n}) = Var(X_{1}) + Var(X_{2}) + \dots + Var(X_{n})$ (2) 式中:  $a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in} = 1$ ; Cov( $F_{i}, F_{j}$ ) = 0, 其中  $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n$ , 即 $F_{i} = F_{j}$ 之间保持独立, 互不 相关; 各主成分的方差依次递减,  $Var(F_{1}) \ge$  $Var(F_{2}) \ge \dots \ge Var(F_{n})$ , 但总方差不变。

1)为了消除量纲的影响,将变量标准化后再计 算各变量之间的协方差矩阵 *C*。

2) 协方差矩阵 *C* 的特征值  $\lambda_1 \ge \lambda_2 \ge \cdots \ge \lambda_n$ , 及其相对应的单位特征向量  $S_1, S_2, \cdots, S_n$ ,转换矩阵 A = S',并且有第 *i* 个主成分  $F_i$  的方差等于协方差矩 阵 *C* 的第 *i* 个特征值  $\lambda_i$ 。

3) 计算第 k 个主成分  $F_k$  的方差贡献率  $\alpha_i$ ,  $\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}$ ,  $\alpha_i$  的大小反映了主成分  $F_k$  包含信息量的大小。  $\sum_{i=1}^{n} \lambda_i$ 

4)最终选取几个主成分,即 $F_1, F_2, \dots, F_m$ 中m的确定,是通过方差累计贡献率G(m)来确定的。

$$G(m) = \frac{\sum_{i=1}^{m} \lambda_{i}}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{k}}, \\ \leq G(m) \geq 85\%$$
时,认为足够反映

原来变量的信息,m就是抽取的前m个主成分。

#### 1.2 Fisher 判别分析

#### 1.2.1 Fisher 判别分析原理

Fisher 判别法是一种线性判别方法,其基本数学 思想就是投影,将原本高维度线性不可分的自变量 组沿着一个合适的方向投影,使得投影的组与组之 ·62· 间尽可能地分开并在低维度上线性可分<sup>[10-12]</sup>。2个 群体的 Fisher 判别示意图如图 1 所示,图 1 中所有 的点均投影到沿着 â 方向的一条直线上 且方向不 断变化,直到 2 个群体被最大限度分开为止。



图 1 2个群体的 Fisher 判别示意图

1.2.2 Fisher 判别分析求解过程

设有 k 个总体  $G_1, G_2, \dots, G_k$  对应的均值向量为  $\mu^{(1)}, \mu^{(2)}, \dots, \mu^{(k)},$ 协方差矩阵为  $C^{(1)}, C^{(2)}, \dots, C^{(k)}$ 。考虑线性判别函数 Y = u'X, 且  $X \in G_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) 的条件下有:

 $E(u'X) = E(u'X | G_i) = u'E(X | G_i) = u'\mu_i, i = 1,$ 2,...,k (3)

$$D(u'X) = D(u'X | G_i) = u'D(X | G_i) = u'C_iu, i = 1, 2, \dots, k$$
(4)

Ŷ

$$b = \sum_{i=1}^{k} (u'\mu_i - u'\bar{\mu})^2$$
 (5)

$$e = \sum_{i=1}^{k} u' C_i u = u' (\sum_{i=1}^{k} C_i) u = u' E u$$
(6)

式中: $\bar{\mu} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} \mu_i$ ;  $E = \sum_{i=1}^{k} C_i$ ; b 为一元方差分析 中的组间差; e 为组内差。

应用方差分析的思想,选择 u 使得目标函数  $\varphi(u) = \frac{b}{a}$ 达到极大值。

设X为p维空间的样品,则有:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} \mu_i \tag{7}$$

从而

$$b = \sum_{i=1}^{k} (u'\mu_i - u'\overline{\mu})^2 = u' \sum_{i=1}^{k} (\mu_i - \overline{\mu})(\mu_i - \overline{\mu})'u = u'Bu$$
(8)

其中 
$$B = \sum_{i=1}^{k} (\mu_i - \bar{\mu}) (\mu_i - \bar{\mu})',$$
即转化成求  
 $\varphi(u) = \frac{u'Bu}{u'Eu}$ 的最大值。为了确保解的唯一性,设  
 $u'Eu = 1$ 的条件下,求  $u$  使得  $u'Bu$  达到极大值。  
 $\varphi(u) = u'Bu - \lambda(u'Eu - 1)$  (9)  
对式(9)求导则有:  
 $\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial u} = 2(B - \lambda E)u = 0\\ \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = u'Eu - 1 = 0 \end{cases}$  (10)  
 $\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = u'Eu - 1 = 0$   
将式(10)两边同乘  $u'$ ,再用  $E^{-1}$ 左乘,整理得:  
 $(E^{-1}B - \lambda I)uu' = 0$  (11)

由式(11)可以看出,  $\lambda$  为  $E^{-1}B$  的特征值, uu' 为  $E^{-1}B$  的特征向量, 由最大特征值所对应的特征向量  $uu' = (u_1, u_2, \dots, u_p)'$ 可得判别函数。

1.2.3 判别效果检验

为了检验判别函数是否可靠,利用训练样本进行回代估算求得误判率<sup>[11]</sup>。对来自总体 *G*<sub>i</sub> 容量为

 $n_i$ 的训练样本  $X_{\alpha}^{(i)} = (x_{\alpha 1}^{(i)}, x_{\alpha 2}^{(i)}, \cdots, x_{\alpha p}^{(i)})'$ ,其中  $\alpha = 1, 2, \cdots, n_i; i = 1, 2, \cdots, m$ ,将训练样本回代到判别函数中。设总的误判个数为 N,则误判率为:

$$\omega = \frac{N}{n_1 + n_2 + \dots + n_m} \tag{12}$$

# 2 煤与瓦斯突出危险等级判别模型及应用

#### 2.1 判别指标的确定

导致煤与瓦斯突出的因素很多,各因素具有模 糊性和不确定性。通过查阅相关文献<sup>[13-16]</sup>并结合 生产实际,选取包括瓦斯、煤体结构、地质、地应力和 煤层等方面的 11 个因素作为判别指标:瓦斯含 量 $x_1(m^3/t)$ 、瓦斯压力 $x_2(MPa)$ 、瓦斯放散初速 度 $x_3(mL/s)$ 、瓦斯解吸指标 $x_4(cm^2/(g \cdot min^{1/2}))$ 、 煤的坚固性系数 $x_5(kg/cm^2)$ 、破碎性综合指标 $x_6$ 、 煤的透气性系数 $x_7(mD)$ 、地质构造 $x_8$ 、钻屑量指 标 $x_9(L/m)$ 、煤层厚度及变化 $x_{10}$ 、开采深度与始突 深度的关系 $x_{11}$ ,如图 2 所示。



图 2 煤与瓦斯突出危险等级判别因素指标

## 2.2 判别模型的建立

以文献<sup>[16]</sup>中贵州黔西北煤矿数据为例,按照上 述的11个因素分类,选取前28个数据作为训练样 本。为了建立判别模型,需要将地质构造的定性描 述进行量化处理:1表示张性构造、围岩透气性好; 2表示无地质构造影响;3表示压性或压扭性断层或 褶皱复杂区或封闭性褶皱构造轴部或封闭地垒、地 堑等。按照煤与瓦斯突出强度等级大小分为4类: 无突出(用"1"表示),小型突出(突出煤炭0~50t, 用"2"表示),中型突出(突出煤炭50~100t,用"3" 表示),大型突出(突出煤炭100t以上,用"4"表 示)<sup>[16]</sup>,样本数据量化结果见表1。

表1 贵州黔西北煤矿样本数据量化结果

样本编号	$x_1$	<i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>3</sub>	$x_4$	$x_5$	<i>x</i> <sub>6</sub>	<i>x</i> <sub>7</sub>	$x_8$	<i>x</i> <sub>9</sub>	$x_{10}$	<i>x</i> <sub>11</sub>	实际突出等级
1	17.05	1.12	25.10	0.77	0.19	1.12	0.10	3	7.5	2.36	1.14	2
2	12.78	1.04	13.95	0.65	0.22	1.15	0.21	2	6.8	2.06	1.14	1
3	18.20	1.15	14.56	0.77	0.19	1.05	0.12	2	8.0	3.35	1.12	3
4	20.58	1.48	33.05	0.78	0.19	1.43	0.13	3	8.9	3.89	1.16	4
5	20.62	1.44	29.05	0.75	0.19	1.43	0.09	3	8.9	4.89	1.21	4
6	13.75	1.09	17.20	0.60	0.18	1.02	0.18	1	7.9	3.05	1.19	1

Vol. 45 No. 3 Jun. 2018 第45卷 第3期 2018年6月

表1(续)												
样本编号	$x_1$	<i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>3</sub>	$x_4$	<i>x</i> <sub>5</sub>	<i>x</i> <sub>6</sub>	<i>x</i> <sub>7</sub>	<i>x</i> <sub>8</sub>	<i>x</i> <sub>9</sub>	<i>x</i> <sub>10</sub>	<i>x</i> <sub>11</sub>	实际突出等级
7	13.94	1.02	14.05	0.65	0.20	1.43	0.17	1	8.5	1.76	1.20	1
8	18.20	1.24	28.40	0.74	0.25	1.15	0.12	2	7.2	4.88	1.17	3
9	20.94	1.40	32.32	0.71	0.14	1.32	0.07	2	8.5	4.01	1.18	4
10	13.45	1.12	12.05	0.60	0.22	1.05	0.16	2	7.0	2.89	1.23	1
11	17.83	1.32	28.50	0.65	0.22	1.75	0.09	2	7.5	1.75	1.23	3
12	13.60	1.15	12.33	0.72	0.20	1.10	0.13	2	8.7	2.30	1.08	1
13	14.50	1.16	13.43	0.62	0.19	1.20	0.15	2	8.3	3.12	1.05	1
14	16.50	1.25	14.32	0.64	0.18	1.05	0.14	3	7.9	2.35	1.08	2
15	21.03	1.48	30.32	0.71	0.21	1.35	0.11	3	9.5	3.09	1.17	4
16	10.75	0.95	11.40	0.67	0.29	0.50	0.18	2	5.8	3.20	1.20	1
17	9.20	0.92	10.50	0.69	0.28	0.50	0.17	2	6.1	3.20	1.19	1
18	11.78	0.89	11.95	0.65	0.22	1.15	0.14	2	6.8	2.06	1.14	1
19	12.96	1.19	13.20	0.63	0.25	0.50	0.18	2	6.2	3.08	1.16	1
20	10.53	0.68	9.40	0.65	0.29	0.50	0.21	2	5.5	2.02	1.12	1
21	14.60	1.18	12.05	0.62	0.22	1.15	0.12	2	6.7	2.10	1.16	1
22	13.45	1.16	13.20	0.57	0.25	1.30	0.11	2	6.5	2.08	1.14	1
23	15.78	0.94	20.02	0.66	0.25	1.32	0.13	2	7.5	3.32	1.13	2
24	20.40	1.43	21.10	0.65	0.16	1.35	0.08	3	8.7	4.03	1.15	4
25	17.40	1.23	18.50	0.68	0.17	1.32	0.08	3	8.5	3.05	1.15	2
26	17.05	1.21	24.20	0.70	0.24	1.24	0.12	2	8.6	3.07	1.14	2
27	13.05	1.01	10.50	0.62	0.24	1.15	0.15	2	6.6	2.55	1.14	1
28	19.67	1.47	29.56	0.68	0.19	2.05	0.07	2	8.0	4.63	1.23	4

# 2.2.1 数据的 PCA 处理

为了消除各指标量纲对模型判别精度的影响, 首先对表1中的样本数据进行标准化处理,然后求得 各指标间的相关系数矩阵,如表2所示。从表2可以 清楚看出各个指标之间的相关性,如指标 x<sub>2</sub> 和 x<sub>4</sub> 的 相关系数达到了 0.997,这样就造成了样本指标之间 的信息重叠,直接利用这 11 个指标进行判别时会对 精确度产生影响,所以有必要对指标进行 PCA 处理。

表 2 煤与瓦斯突出危险等级判别模型各指标间的相关系数矩阵

指标	$x_1$	<i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>3</sub>	$x_4$	$x_5$	<i>x</i> <sub>6</sub>	<i>x</i> <sub>7</sub>	<i>x</i> <sub>8</sub>	<i>x</i> <sub>9</sub>	<i>x</i> <sub>10</sub>	<i>x</i> <sub>11</sub>
<i>x</i> <sub>1</sub>	1.000										
<i>x</i> <sub>2</sub>	-0.588	1.000									
<i>x</i> <sub>3</sub>	0.828	-0.324	1.000								
$x_4$	-0.633	0.997	-0.368	1.000							
$x_5$	-0.816	0.839	-0.479	0.862	1.000						
$x_6$	0.779	-0.437	0.642	-0.479	-0.676	1.000					
<i>x</i> <sub>7</sub>	-0.754	0.964	-0.491	0.976	0.907	-0.593	1.000				
$x_8$	0.730	-0.506	0.482	-0.532	-0.664	0.459	-0.629	1.000			
<i>x</i> <sub>9</sub>	0.881	-0.644	0.695	-0.682	-0.841	0.765	-0.767	0.594	1.000		
<i>x</i> <sub>10</sub>	-0.045	0.645	0.133	0.626	0.412	-0.225	0.540	-0.076	-0.221	1.000	
<i>x</i> <sub>11</sub>	-0.629	0.986	-0.337	0.987	0.863	-0.464	0.965	-0.557	-0.694	0.627	1.000

通过 PCA 处理得到碎石图,如图 3 所示。通过 图 3 可以直观地看出各主成分对应的特征值(即各 主成分的信息量),依据各主成分的信息量分布规 律,选取前5个主成分(即图3中横坐标对应的1~5 这5个成分),计算得累计信息量为97.4%,可解释 原样本指标的绝大部分内容。



图 3 PCA 碎石图

通过上述分析,并根据成分矩阵,提取的新的成 分因子  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$ 与原始指标之间的关系表 达式如下:

 $F_1 = -0.863x_1 + 0.899x_2 - 0.610x_3 + 0.922x_4 + 0.946x_5 - 0.719x_6 + 0.970x_7 - 0.699x_8 - 0.875x_9 + 0.467x_{10} + 0.919x_{11}$  (13)

 $F_2 = 0.475x_1 + 0.395x_2 + 0.649x_3 + 0.345x_4 + 0.014x_5 + 0.381x_6 + 0.180x_7 + 0.271x_8 + 0.297x_9 + 0.738x_{10} + 0.351x_{11}$  (14)

 $F_{3} = -0.025x_{1} + 0.073x_{2} + 0.126x_{3} + 0.061x_{4} + 0.038x_{5} + 0.463x_{6} + 0.059x_{7} - 0.523x_{8} + 0.144x_{9} - 0.326x_{10} + 0.093x_{11}$ (15)

 $F_4 = -0.018x_1 + 0.148x_2 - 0.304x_3 + 0.138x_4 - 0.092x_5 + 0.283x_6 + 0.086x_7 + 0.360x_8 - 0.006x_9 - 0.204x_{10} + 0.095x_{11}$  (16)

 $F_5 = -0.011x_1 + 0.002x_2 + 0.303x_3 + 0.004x_4 + 0.228x_5 - 0.030x_6 - 0.007x_7 + 0.179x_8 - 0.180x_9 - 0.257x_{10} + 0.029x_{11}$  (17)

# 2.2.2 Fisher 判别分析

将表 1 中 28 个训练样本数据代入到 PCA 处理 得到的 5 个主成分  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$ ,并将其作为 Fisher 判别指标,按照突出等级分成 4 类,在假设组 内协方差矩阵相等前提下得到如下 3 个判别函数:

$0.516F_5$ –	13.335	(19)
5		· /

 $K_3 = 1.\ 150F_1 + 2.\ 347F_2 + 2.\ 446F_3 + 6.\ 157F_4 + 2.\ 072F_5 - 8.\ 067 \tag{20}$ 

由判别函数信息表 3 可知 3 个判别函数的判别 能力。判别函数  $K_1$  的方差为 97.6%, 说明该函数可 以解释样本 97.6% 的信息。当一个判别函数对样本 的解释能力不理想时,可以利用多个函数相结合, 如 判别函数  $K_1$  和  $K_2$  的累计贡方差高达 99.9%, 基本 解释了全部信息。

表 3 Fisher 判别函数信息

函数	特征值	方差/%	累计贡方差/%	正则相关性
$K_1$	16.964	97.6	97.6	0.972
<i>K</i> <sub>2</sub>	0.096	2.1	99.9	0.533
<i>K</i> <sub>3</sub>	0.015	1.0	100.0	0.120

 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 为3个判别函数在4个分类中的中心 值,见表4。在判别函数 $K_1$ 中,突出等级为1、2、3 和4的中心得分分别为3.522、-2.008、-1.951和 -6.294。通过比较待测样本函数值与4组中心得分 的距离,即取差值的绝对值,依据绝对值最小的所在 分组为最终分类结果。

表 4 判别函数的各分类中心值

突出等级	<i>K</i> <sub>1</sub>	<i>K</i> <sub>2</sub>	<i>K</i> <sub>3</sub>
1	3.522	0.075	0.040
2	-2.008	-1.134	0.082
3	-1.951	0.087	0.219
4	-6.294	0.279	-0.144

## 2.3 判别效果检验

为了检验该模型的有效性和可靠性,将28个训 练样本数据回代到判别模型中,与实际情况比较,并 利用式(12)计算得到正确率为92.9%。说明基于 主成分分析的 Fisher 判别模型具有较高的可靠性, 适用于煤与瓦斯突出危险等级的预测。

## 3 应用分析

贵州黔西北煤矿位于贵州省金沙县新化乡内, 矿井地质储量17446万t,设计规模150万t/a,煤炭 资源丰富,地质构造简单,瓦斯动力现象频发。文 献[16]中贵州黔西北煤矿6个待判样本数据见 表5,待判样本的判别结果如表6所示。 Vol. 45 No. 3 Jun. 2018

#### 矿业安全与环保

MINING SAFETY & ENVIRONMENTAL PROTECTION

	表 5 页州 新四北保矿 待判样本 致 据												
样本编号	$x_1$	<i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>3</sub>	$x_4$	<i>x</i> <sub>5</sub>	<i>x</i> <sub>6</sub>	<i>x</i> <sub>7</sub>	$x_8$	<i>x</i> <sub>9</sub>	<i>x</i> <sub>10</sub>	<i>x</i> <sub>11</sub>		
1	18.30	1.25	15.40	0.78	0.14	1.34	0.12	3	7.7	3.87	1.16		
2	20.74	1.49	35.30	0.71	0.19	1.75	0.08	2	9.0	4.42	1.25		
3	16.50	1.25	14.32	0.64	0.18	1.05	0.14	3	7.9	2.35	1.08		
4	9.75	0.58	8.40	0.71	0.32	0.50	0.22	2	5.2	2.20	1.20		
5	10.10	0.93	9.50	0.62	0.29	0.50	0.19	1	6.4	2.80	1.15		
6	21.20	1.51	35.43	0.72	0.17	2.13	0.05	3	9.2	4.53	1.25		
-													

#### 表 6 贵州黔西北煤矿待判样本判别结果

样本 编号	<i>K</i> <sub>1</sub> 判别 函数值	距突出等级 为1的距离	距突出等级 为2的距离	距突出等级 为3的距离	距突出等级 为4的距离	实际突出 等级	PCA-Fisher 判别法	Fisher 判别法	BP 神经网络 判别法
1	-2.097	5.649	0.189	0.146	4.197	3	2	2	2
2	-5.157	8.709	3.149	3.206	1.137	4	4	4	4
3	-1.457	5.009	0.551	0.494	4.837	2	2	3	2
4	5.196	1.644	7.204	7.147	11.490	1	1	1	1
5	6.363	2.811	8.371	8.314	12.657	1	1	1	1
6	-6.444	9.997	4.436	4.494	0.151	4	4	4	4

由表 6 可见, PCA-Fisher 判别法总体的判别结 果绝大部分正确, 只有针对样本 1 的判别有误, 将 煤与瓦斯突出类别为中型突出误判成小型突出。 同时列出了 Fisher 判别法和 BP 神经网络的判别结 果, Fisher 判别出现了 2 个误判的情况, 后者也有 1 个误判, 相比较而言 PCA-Fisher 判别模型更加 可靠。

#### 4 结论

1)通过比较待判样本的判别结果,单纯使用 Fisher和BP神经网络的判别方法对煤与瓦斯突出 危险等级的预测精度要低于PCA-Fisher法,PCA-Fisher判别模型具有更高的准确性和可靠性,因此 PCA-Fisher判别法可以作为预测煤与瓦斯突出的新 方法。

2)在将训练样本数据回代到判别模型时,存在 少数误判,原因是训练样本的数量较少,在煤与瓦斯 突出强度分类时,利用的是一个定量到定性的分类 原则。为了提高模型的预测精度,在后续的工作中, 需要收集各个矿区大量的煤与瓦斯突出资料,并期 望找到一个更加合适的分类方法。

# 参考文献:

[1] 程远平,王海峰,王亮,等.煤矿瓦斯防治理论与工程应 用[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010:507-508.

- [2] 聂百胜,何学秋,王恩元,等.煤与瓦斯突出预测技术研究现状及发展趋势[J].中国安全科学学报,2003, 13(6):40-43.
- [3] 王超,宋大钊,杜学胜,等.煤与瓦斯突出预测的距离判别分析法及应用[J].采矿与安全工程学报,2009, 26(4):470-474.
- [4] 肖红飞,何学秋,刘黎明.改进 BP 算法在煤与瓦斯突出预测中的应用[J].中国安全科学学报,2003, 13(9):59-63.
- [5] 陈祖云,张桂珍,邬长福,等.基于支持向量机的煤与 瓦斯突出预测研究[J].工业安全与环保,2010, 36(5):33-36.
- [6] 高卫东. Fisher 判别法在煤与瓦斯突出危险程度预测中的应用[J]. 中国安全科学学报,2010,20(10): 26-30.
- [7] 孙鑫,徐杨,林柏泉,等.煤与瓦斯突出影响因素评价 分析的模糊层次分析方法[J].中国安全科学学报, 2009,19(10):145-149.
- [8] 张润楚. 多元统计分析[M]. 北京:科学出版社, 2006: 346.
- [9] 杨凯,陈建宏.基于主成分分析与 BP 神经网络的冲击 地压预测的研究[J].广西大学学报(自然科学版), 2012,37(5):997-1003.
- [10] 毕建武,贾进章,赵博琦,等.煤与瓦斯突出预测的
   Fisher 判别分析法及应用[J].安全与环境学报,
   2014,14(5):57-60.

(下转第71页)

• 66 •

# 5 结论

1) 对采场矿压显现规律有明显影响的因素,除 了与顶板的覆岩组成密切相关外,还与采煤方法特 别是实际采出的煤层厚度密切有关。

2)通过理论计算,预计高家堡煤矿 101 工作面 在综采条件下,直接顶厚度为11.5 m,基本顶厚度为 9.9 m;在综放开采条件下,直接顶厚度为17.9 m,采 场处在"岩—矸"结构的保护下推进,结构上方的岩 层对采场矿压显现没有明显影响,不存在基本顶。

3) 通过现场矿压观测,结合 101 综采(综放)工 作面实际开采情况及矿压显现特征,在采高为 3.5 m 的综采条件下,直接顶初次垮落步距平均为 24.7 m, 基本顶初次来压步距平均为 47.0 m。

4)101 工作面在采高 3.5 m、放煤高度 3.5 m 的 综放开采条件下,液压支架工作阻力的变化一直比 较平稳,没有出现明显的工作阻力高峰及周期性变 化情况。采场是在大厚度坚硬细粒砂岩垮落后形成 的半拱状的"岩—矸"结构掩护下推进,工作面实际 上不存在基本顶,也就没有出现基本顶周期性运动 形成的周期来压现象。

# 参考文献:

- [1] 李斌,张文.综采工作面矿压显现特征及控制技术[J].
   煤炭科学技术,2013,41(S1):18-21.
- [2] 鞠金峰,徐家林,朱卫兵,等.7.0 m 支架综采面矿压显 现规律研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(3): 344-350.
- [3] 吴士良,刘思利,佟金婉,等.综采采场顶板结构模型及
   "支架—围岩"关系研究[J].山东科技大学学报(自然 科学版),2016,35(4):44-51.

(上接第66页)

- [11] 陈红江,李夕兵,刘爱华,等.用 Fisher 判别法确定矿 井突水水源[J].中南大学学报(自然科学版),2009, 40(4):1114-1120.
- [12] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京:北京大学出版 社,2004.
- [13] 鲁金涛,李夕兵,官凤强,等.基于主成分分析与 Fisher 判别分析法的矿井突水水源识别方法[J].中国 安全科学学报,2012,22(7):109-115.

- [4] 王庆雄, 鞠金峰. 450 m 超长综采工作面矿压显现规律 研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(3):125-128.
- [5] 吴士良,刘思利.顶板结构模型法计算确定综采面支架 合理支护强度[J].山东科技大学学报(自然科学版), 2015,34(6):40-44.
- [6] 车禹恒,朱志洁. 特厚煤层工作面长度对矿压显现的影响[J]. 矿业安全与环保,2016,43(3):81-85.
- [7] 郭高川,杨永康,季春旭. 近浅埋煤层大采高工作面矿 压显现规律研究[J]. 矿业安全与环保,2016,43(1): 26-29.
- [8] 谭云亮,吴士良,尹增德,等.矿山压力与岩层控制[M].
   北京:煤炭工业出版社,2008.
- [9] 来兴平,李云鹏,王宁波,等.基于梁结构的急斜煤层综放工作面顶板变形特征[J].采矿与安全工程学报, 2015(6):871-876.
- [10] 卢国志,汤建泉,宋振骐. 传递岩梁周期裂断步距与周期来压步距差异分析[J]. 岩土工程学报,2010, 22(4):538-541.
- [11] 谭云亮,宁建国,顾士坦,等.矿山压力与岩层控制[M].
   北京:煤炭工业出版社,2011.
- [12] 李化敏,蒋东杰,李东印. 特厚煤层大采高综放工作面 矿压及顶板破断特征[J]. 煤炭学报,2014,39(10): 1956-1960.
- [13] 成云海,姜福兴,庞继禄. 特厚煤层综放开采采空区侧向矿压特征及应用[J]. 煤炭学报,2012,37(7):1088-1093.
- [14] 姜福兴.采场覆岩空间结构观点及其应用研究[J]. 采矿与安全工程学报,2006(1):30-33.
- [15] 孔令海,姜福兴,王存文.特厚煤层综放采场支架合理工作阻力研究[J]. 岩石力学与工程学报,2010, 29(11):2312-2318.

(责任编辑:陈玉涛)

- [14] 李希建,林柏泉.煤与瓦斯突出机理研究现状及分析[J].煤田地质与勘探,2010,38(1):7-13.
- [15] 韩军,张宏伟,宋卫华,等.煤与瓦斯突出矿区地应力场研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S2): 3852-3859.
- [16] 孟絮屹.贵州黔西北煤矿掘进工作面煤与瓦斯突出预测研究[D].贵阳:贵州大学,2009.

(责任编辑:逄锦伦)