

(15) 89-94  
**冲击地压的区域危险性预测**

The Prediction of Danger Zone of Coal Burst

尹光志 鲜学福 张志强 金立平 白云彪  
Yin Guangzhi Xian Xuefu Zhang Zhiqiang Jin Liping Bai Yunbiao  
(重庆大学资源及环境工程学院, 重庆, 630044; 第一作者 33岁, 男, 副教授, 博士生)

TD 324.1  
TD 713

**摘要** 对砚石台煤矿地应力进行了现场测试。采用5种指标对该矿6#煤层冲击倾向性进行了实验研究。通过煤体强度实验建立了其强度准则, 并结合工程实际建立了能量判据。在此基础上, 根据“三准则”机理模型, 对该矿6#煤层冲击地压的区域危险性进行了预测。

**关键词** 冲击地压; 预测; 煤矿安全  
中国图书资料分类法分类号 TD713

区域危险性

**ABSTRACT** The measurement of in-site crustal stresses are carried out in Yan Shi Tai coal mine. The outburst-proneness of 6# coal seam are studied with five indexes. Based on the strength testing of coal, the strength criterion is set up. The energy criterion is put forward in the light of engineering practice. According to the "three criteria" mechanical model, the prediction of danger zone of coal burst of 6# coal seam in this mine is carried out.

**KEYWORDS** coal burst; prediction; safety of coal mine

**0 引 言**

冲击地压是国内外煤矿开采中所发生的主要灾害之一。对于冲击地压的研究, 国内外学者先后提出了强度理论、能量理论、冲击倾向性理论、刚度理论和失稳理论等<sup>[1-4]</sup>。这些理论从不同的角度对冲击地压的发生机理及冲击地压的预测预报和防治措施提供了有力的理论基础。但是, 由于冲击地压是受众多因素影响的复杂的动力过程, 目前对于彻底地认识和掌握冲击地压的发生机理仍有相当大的差距。为此, 笔者根据砚石台煤矿冲击地压的特征, 结合强度理论、能量理论和冲击倾向性理论为一体的“三准则”冲击地压机理模型, 对该矿6#煤层的冲击地压区域危险性预测进行了研究。

**1 砚石台煤矿地应力现场测试**

由于冲击地压的发生与地应力有着密切的关系。为了掌握砚石台煤矿冲击地压的发生

\* 收文日期 1995-09-13  
重庆市煤炭工业管理局资助项目

规律,并进行区域危险性预测,首先笔者采用空心包体法对砚石台煤矿的地应力进行了现场测试。三个地应力测点的布置如图1所示,其坐标如表1所示。

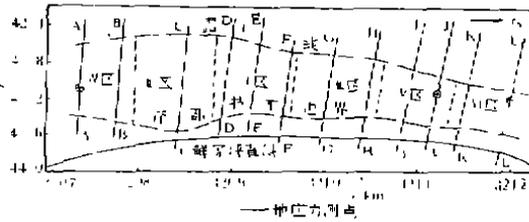


图1 砚石台煤矿地应力测点布置

表1 地应力测点坐标 (m)

测点	x	y	z	h
四区±0 m水平	3 207 376	43 092	5.639	507
五区±0 m水平	3 211 230	43 080	11	590
七区+210 m水平	3 212 035	43 160	221	360

其地应力测试结果如表2所示。

表2 砚石台煤矿地应力测试结果

参数	四区测点			五区测点			七区测点		
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
主应力/MPa	25.81	9.44	7.05	29.01	12.13	7.90	18.09	3.98	3.00
倾角/(°)	2.99	-76.09	13.56	6.34	80.18	-6.92	7.54	70.25	-18.15
方位角/(°)	93.25	171.03	3.97	283.32	192.47	238.00	102.63	34.26	10.15

## 2 煤层冲击倾向性的实验研究

煤层冲击倾向性是指煤体能够聚集弹性应变能并在超过其本身的强度后突然释放出来的各种物理力学性质的总和。冲击倾向性是产生冲击地压的煤岩的固有属性,决定了其产生冲击破坏的能力,是发生冲击地压的内因,也是必要条件。根据砚石台煤矿的实际情况,笔者采用弹性能指标 $W_{er}$ 、弹性变形指标 $K_i^*$  ( $i=1,2,3$ )、冲击能指标 $W_{or}$ 、刚度比指标 $K_{or}$ 和修正的冲击能指标 $W'_{or}$ 对砚石台煤矿6#煤层的冲击倾向性进行了实验研究。

砚石台煤矿6#煤层试样循环实验的应力-应变关系曲线如图2所示。

6#煤层的弹性能指标 $W_{er}$ 、弹性变形指标 $K_i^*$  ( $i=1,2,3$ )实验结果如表3所示。

6#煤层试样在INSTRON1346型液压伺服控制刚性试验机上进行的应力-应变全过程实验所得曲线如图3所示。

6#煤层的冲击能指标 $W_{or}$ 、刚度比指标 $K_{or}$ 和修正的冲击能指标 $W'_{or}$ 的实验结果如表4所示。

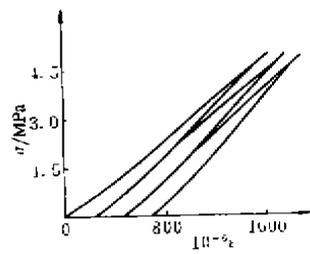


图 2 6# 煤层煤样循环加载应力 - 应变关系曲线

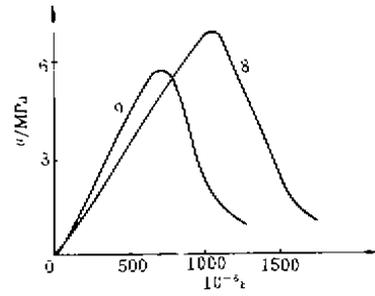


图 3 6# 煤层煤样应力应变全过程曲线

表 3 6# 煤层冲击倾向性实验结果(循环加载实验)

试件号	$W_{nr}$	冲击倾向性	$K_1^*$	$K_2^*$	$K_3^*$	冲击倾向性
3	2.43	中等	0.84	0.73	0.69	有冲击危险
4	2.89	中等	0.83	0.80	0.75	有冲击危险
5	3.30	中等	0.85	0.78	0.70	有冲击危险
6	2.70	中等	0.80	0.76	0.65	有冲击危险

临界指标：  
 $W_{nr} \geq 5.0$  强烈冲击倾向性  
 $2.0 \leq W_{nr} < 5.0$  中等冲击倾向性  
 $W_{nr} < 2.0$  无冲击倾向性

临界指标：  
 $K_1^* \geq 0.7$  有冲击危险

表 4 6# 煤层冲击倾向性实验结果(应力 - 应变全过程实验)

试件号	$W_{cr}$	冲击倾向性	$K_{cr}$	冲击倾向性	$W_{cr}$	冲击倾向性
8	1.80	中等	0.53	危险	1.65	中等
9	1.38	中等	0.61	危险	1.12	中等

临界指标：  
 $W_{cr} > 2.0$  强烈冲击倾向性  
 $1.0 < W_{cr} \leq 2.0$  中等冲击倾向性  
 $W_{cr} \leq 1.0$  无冲击倾向性

临界指标：  
 $K_{cr} \leq 1.0$  有冲击倾向性  
 $K_{cr} > 1.0$  无冲击倾向性

临界指标：  
 $W_{cr} > 2.0$  强烈冲击倾向性  
 $1.0 < W_{cr} \leq 2.0$  中等冲击倾向性  
 $W_{cr} \leq 1.0$  无冲击倾向性

根据上述实验研究结果,硃石台煤矿 6# 煤层具有中等冲击倾向性。

### 3 煤体强度判据的研究

为了获得煤体的强度判据,在硃石台煤矿 6# 煤层采集了煤样并加工成 50 mm × 50 mm × 100 mm 的长方体试件,采用我院自制的真三轴试验装置进行了三轴实验。将实验结果绘在  $\sqrt{J_2} - J_1$  坐标系内,如图 4 所示。

将实验结果进行拟合后,可得 6# 煤层的

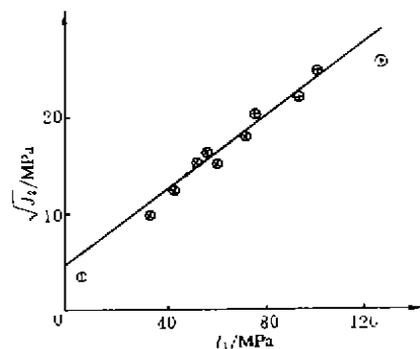


图 4 6# 煤层煤样三轴实验结果

强度准则为:

$$J_2^{1/2} - 0.19I_1 - 5.20 = 0 \quad (1)$$

其拟合系数  $r = 0.94$ .

从图 4 中可以看出, 中间的实验点线性程度较好。但当  $I_1$  较小和较大时, 实验结果偏离回归曲线较远。为了较好地描述  $I_1 < 0$  或  $I_1$  较大时的情况, 我们采用下列关系作为强度包络面:

$$\left. \begin{aligned} F_1 \text{ 段: } \sigma_3 - \sigma_1 &= 0 \\ F_2 \text{ 段: } J_2^{1/2} - aI_1 - K &= 0 \quad (\sigma_1 < I_1 \leq I_0) \\ F_3 \text{ 段: } J_2 + (I_1 - I_0)^2 - (aI_0 + K)^2 &= 0 \quad (I_1 > I_0) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中:

$$a = \frac{-\sin\varphi}{\sqrt{3(3 + \sin^2\varphi)}} \quad K = \frac{\sqrt{3}C\cos\varphi}{\sqrt{3 + \sin^2\varphi}}$$

$C$ ——内聚力                       $\varphi$ ——内摩擦角

其强度包络面母线如图 5 所示。

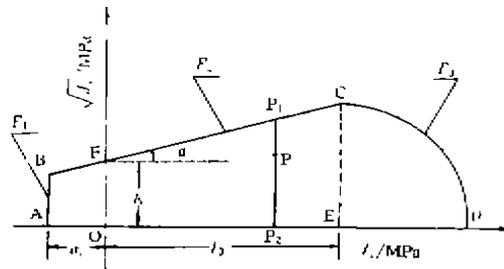


图 5 强度包络面母线示意图

为了便于应用计算机作数值处理, 我们根据(2)式引入稳定性系数  $S$  来衡量煤体的稳定程度:

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \\ S &= \frac{aI_1 + K}{J_2^{1/2}} \quad \sigma_1 < I_1 \leq I_0 \\ S &= \frac{(aI_0 + K)^2}{J_2 + (I_1 - I_0)^2} \quad I_1 > I_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

当  $S > 1.0$  时, 煤体处于稳定状态; 当  $S = 1.0$  时, 煤体处于极限平衡状态。

#### 4 冲击地压的能量判据

为了确定冲击地压的能量判据, 必须确定出冲击地压的能量指标值  $W_c$ , 这样冲击地压的能量判据表示为:

$$W \geq W_c \quad (4)$$

由于煤层不同部位所处的应力状态是不同的,因此,破坏单位体积煤所需的能量也有较大差别,并且在煤岩系统中发生冲击地压时有多少煤参与能量释放以及释放程度如何都是很难求出的。因此,实际发生冲击地压时煤层应变能密度的临界值  $W_c$  很难从理论上作出精确计算。为此,从工程实际的角度出发,对砚石台煤矿各采区已发生冲击地压的始发点对应的应变能密度进行了计算(如表 5 所示)。由于表 5 是该矿各采区已发生冲击地压点的应变能密度,也即在实际中,当各采区应变能密度达到该值时,则发生冲击地区。因此,认为始发点的应变能密度接近发生冲击地压的应变能密度临界值是符合工程实际的。从表 5 可知,  $W$  值为  $91 \sim 134 \text{ KJ/m}^3$ 。为了在工程应用中偏于安全,取其最小值作为  $W_c$ 。这样能量判据可表示为:

$$W \geq 91.0 \text{ KJ/m}^3$$

表 5 6# 煤层冲击地压始发点位置及其应变能密度

采区	$\pm 0 \text{ m NV I}$	$\pm 0 \text{ m S II}$	$\pm 0 \text{ m NV II}$	NV		
				$\pm 210 \text{ m}$	$\pm 0 \text{ m}$	$\pm 210 \text{ m NV I}$
标高 /m	112.0	174.0	215.8	307.0	220.5	336
$W/\text{KJ} \cdot \text{m}^{-3}$	93.0	91.0	113.0	120.0	134.0	106.0

## 5 冲击地压区域危险性预测

根据“三准则”机理模型,即冲击倾向性准则、强度准则和能量准则同时满足是煤层发生冲击地压的充分必要条件。砚石台煤矿 6# 煤层冲击倾向性的实验研究已表明该矿 6# 煤层具有中等冲击倾向性。所以只要同时满足了强度准则和能量准则的区域,则可认为是冲击地压危险区;而把仅满足单个准则的区域列为威胁区;每个准则都不满足时,则为安全区。即

当	$S \leq 1.0$	且	$W \geq 91.0 \text{ KJ/m}^3$	危险区
当	$S > 1.0$	且	$W \geq 91.0 \text{ KJ/m}^3$	威胁区
或	$S \leq 1.0$	且	$W < 91.0 \text{ KJ/m}^3$	威胁区
当	$S > 1.0$	且	$W < 91.0 \text{ KJ/m}^3$	安全区

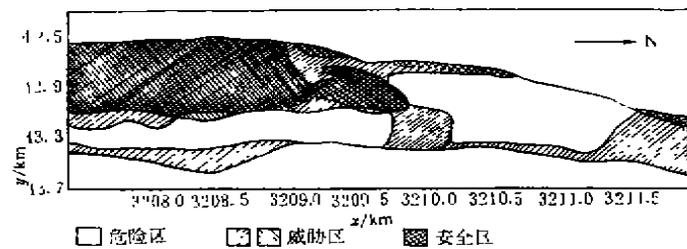
在实际计算中,对砚石台煤矿地应力场的非线性数值分析以及  $S$  和  $W$  等值线分布图是采用大型结构分析的 ADINA 程序,在 SIMENS 中型计算机上运行的,计算时采用了 ADINA-IN,ADINA,ADINA-PLOT 程序系统全过程。其 ADINA 程序中所需的参数由实验确定。其地层岩石的物理力学参数如表 6 所示。

将地应力场计算结果代入(3)式求得煤层内各高斯点的稳定性系数  $S$  值并绘制其等值线分布图,即按强度准则划分危险区域。同时绘制出煤层弹性应变能密度  $W$  的等值线分布图。由于实验研究已表明该矿 6# 煤层具有中等冲击倾向性,所以,稳定性系数  $S$  的等值线分布图和弹性应变能密度  $W$  等值分布图中危险区域重叠部分便是冲击地压的潜在危险区。

表6 地层岩石的物理力学参数

参数	$T_1$	$T_2$	$P_0$	$P_1$	$P_m$	$P_s$	$S_h$
$\gamma/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2578.0	2451.0	2650.0	2423.0	2600.0	2621.0	2445.0
$E_0/\text{MPa}$	98751.1	99698.6	102817.1	56049.7	120557.5	110321.2	45191.5
$\mu$	0.3246	0.3060	0.3120	0.2870	0.2730	0.3060	0.3700
$\sigma_1/\text{MPa}$	2.265	2.067	2.671	1.883	3.218	2.442	1.955
$\sigma_r/\text{MPa}$	79.909	93.365	67.939	49.754	70.271	83.052	36.092

按上述方法对硯石台煤矿6<sup>#</sup>煤层的冲击地压区域危险性进行了预测,其预测图如图6所示。

图6 硯石台煤矿6<sup>#</sup>煤层冲击地压区域危险性预测图

在硯石台煤矿已开采的区域内,根据矿上统计的冲击地压发生点基本上在所划定的危险区内,说明了该方法是可行的。随着硯石台煤矿延深水平的开采,该预测方法的准确性将会进一步得到验证。

## 6 结 语

基于强度理论、能量理论和冲击倾向性理论为一体的“三准则”冲击地压机理模型对硯石台煤矿6<sup>#</sup>煤层冲击地压的区域危险性进行了预测,得出了预测图。经初步应用表明,该预测方法是可行的。随着该矿延深水平的开采,该方法的正确性将会得到更进一步的证实。本文的研究结果对硯石台煤矿的安全生产具有指导意义。

## 参 考 文 献

- 1 张万斌,王淑坤. 我国冲击地压研究与防治的进展. 煤炭学报, 1992, 17(3): 27~35
- 2 齐庆新,刘天泉,史元伟. 冲击地压摩擦滑动失稳机理. 矿山压力与顶板管理, 1995, (4): 174~177
- 3 章梦涛. 冲击地压失稳理论与数值模拟计算. 岩石力学与工程学报, 1987, 6(3): 197~204
- 4 Cyril, T. prediction of rock and gas outburst occurrence. Engng Geol, 1993, 33(3): 241~250
- 5 Brummer R K, Kaiser P K. Risk-cost-benefit analysis for support design in burst-prone mines. Transactions-Institution of Mining & Metallurgy, 1995, Section A, 104(Jan-April): A71~A72