

# 煤和瓦斯突出与地应力之关系

汪西海

(中国地质科学院地质力学研究所)

**摘要** 本文以声发射粗估法地应力测量,研究谢二煤矿煤和瓦斯突出与地应力之关系。研究结果表明,煤与瓦斯突出与地应力呈正相关关系。也就是说,凡煤与瓦斯突出地带均属地应力超常地带,而安全地带的地应力值则正常或偏低。

**关键词** 声发射地应力测量 煤与瓦斯突出

## 0 引言

地应力测量对地壳中应力活动的研究、构造体系分析、地壳运动问题的探讨以及区域地壳稳定性的研究,都具有重大的理论意义和实际意义,并在地震预报、工程地质、矿山开发、水利工程和其它地下建筑工程的设计、施工及安全生产等方面得到了广泛地应用。然而,在室内用声发射粗估法地应力测量来研究和探讨煤和瓦斯突出与地应力的关系,在国内还不多见。

煤与瓦斯突出是煤矿生产最严重的地质灾害之一。它是由于积蓄在煤体中的弹性应变能及瓦斯突然释放,导致从煤体中喷出巨量煤和瓦斯流而造成破坏性极大的一种灾变现象。实践表明,煤和瓦斯突出只发生在突出煤层的某些地带,一般突出危险带的面积还不到突出煤层总面积的 10%,且突出危险带之间间隔较大。因此,煤和瓦斯突出是区域性分布的,若合理进行煤和瓦斯突出的预测,不仅能保障突出煤层开采的人身安全,而且能有效地指导防止突出措施的合理使用。

谢二煤矿位于淮南煤田南部逆掩推覆构造上,地处阜凤和舜耕山逆掩断层之间的中段,煤矿区地层倾角  $20^{\circ}$  左右,发育一系列阶梯状正断层。该矿年产原煤 120 万吨左右,由于煤和瓦斯突出严重,直接威胁谢二煤矿的安全生产。淮南矿院与地质力学研究所声发射组密切配合,在煤和瓦斯突出的危险地带和没有发生煤和瓦斯突出的安全地带分别采样,用声发射粗估法地应力测量研究煤和瓦斯突出与地应力的关系,圈定煤和瓦斯突出的危险地带,为安全生产提供依据。

## 1 试样制备及实验装置简介

试样制备使用摇臂钻床取芯,然后进行精磨,使试样直径为 25mm,偏差  $\leq 0.2\text{mm}$ ;高为  $55 \pm 15\text{mm}$ ,上下两端不平行度  $\leq 10^{-4}\text{m}$ 。为克服试机微小晃动量,使用专用加载系统以保证试样承受均匀外加正压力,试样两端及加载架所有接触部位均涂抹专门研制的减噪剂,以消除因

滑动摩擦产生的干扰信号。

两个压电换能器(简称探头,中心频率 120k Hz)把接受到的弹性波转变为电信号,经各自的前置放大器(增益为 40分贝)放大后,送至各自的输入鉴别单元;在鉴别单元内信号经滤波、放大,固定门槛电压 1V,前沿鉴别时间 100微秒,事件间隔 1毫秒的控制后,信号送至定区检测单元,以检测两个压电换能器之间特定区域里的声发射(以下简称 AE)信号。数据采集系统直接从计数控制单元上采集的数据经微机进行处理,并绘制出 AE累积数与外加压应力响应曲线图<sup>[1]</sup>。

## 2 声发射粗估法地应力测量

声发射法地应力测量是利用岩石的凯瑟效应(Kaiser Effect)来实现的。所谓凯瑟效应是指材料在经过一次或多次加载或卸载后,如果再次以同样方式对其进行加载时,只要未达到以前所施加的最大应力值,则很少发生声发射;而只有超过此值时,才有显著的声发射活动。

声发射法地应力测量从现场采集定向岩芯后,通常按下列方向取样:三个相互垂直的坐标方向:  $x, y, z$  和与  $x, y, z$  轴成  $45^\circ$  交角法面的法线方向  $x45^\circ y, y45^\circ z, z45^\circ x$ , 每个方向至少取样 25个以上,在压机上加载,测定 AE发生状况,记录每秒计数的 AE曲线,绘制出 AE累积数与外加压应力响应曲线。由凯瑟效应,即曲线上显示的斜率陡增点所对应的应力值,来判定试样取样方向的先存正应力。通过统计,求得六个取样方向的先存正应力  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  及  $\epsilon_{x45^\circ y}, \epsilon_{y45^\circ z}, \epsilon_{z45^\circ x}$ , 根据弹性力学公式可求出三个主应力的大小和方向<sup>[2]</sup>。

显然,上述声发射法地应力测量要统计大量的实验数据,繁琐、昂贵、费时;而且,国内外众多学者否定凯瑟效应的方向性,所测结果令人难以信服。在地质情况十分清楚的地方,地质人员和工程设计人员只需了解最大主应力的大小,而不需要了解主应力的方向时,这种常规的声发射法地应力测量显然不经济。丁原辰研究员在多年反复实验的基础上<sup>[3]</sup>,总结出行之有效的只测测点处最大主应力值,而不考虑主应力方向的地应力测量法,即声发射粗估法地应力测量。

所谓声发射粗估法地应力测量是指从现场采集的岩芯或新鲜岩块,在三个以上任意方向取直径  $\varnothing 25\text{mm} \times 50\text{--}70\text{mm}$  的岩石试样,测得各试样的初压、复压 AE率累积数,并分别绘制出它们的 AE累积数与外加压应力响应曲线,在 AE累积数与外加压应力响应曲线上则有两个对应斜率陡增点(通常称之为凯点,并以 K表示)。第一个斜率陡增点,即  $K_1$  点,对应于取样方向的正应力值;第二个斜率陡增点,即  $K_2$  点,对应于测点的最大主应力值。分别找出初压和复压 AE累积数与外加压应力响应曲线上的  $K_{2c}$  点及  $K_{2f}$  点,  $K_{2c}$  点和  $K_{2f}$  点分别对应初压和复压最大主应力值,用  $\sigma_{mc}$  和  $\sigma_{mf}$  表示,将二次结果予以平均,便可求出试样三维地应力状态的最大主应力值。如果从三个以上方向所取的 10个以上岩石试样测得的三维最大主应力值相近,偏差大体在平均值的 15% 以内,则可统计出测点处的最大主应力值。这种不能确定方向,只能给出最大主应力值大小的方法称为声发射粗估法地应力测量<sup>[4]</sup>。

## 3 测点选择和试样

谢二煤矿自 1959年首次发生煤和瓦斯突出到 1991年底的 32年间,发生各种突出 25次,岩喷二次,平均突出强度 118t,但 84% 发生在主要断层上或主要断层两侧,可见与构造密切相关

关。F<sub>13-5(1)</sub>、F<sub>13-5</sub>、F<sub>13-</sub>断层带附近是该矿煤与瓦斯突出严重地带,突出次数占全矿的75%,平均突出强度高于全矿平均水平,约为160t。尤其是F<sub>13-5(1)</sub>和F<sub>13-5</sub>断层带,凡掘进遇B<sub>111</sub>煤层皆发生强突出。与断层有关的突出绝大多数在断层上盘,可见瓦斯富集与断层上盘应力集中有关。

鉴于以上情况,AE粗估法地应力测量测点主要选在F<sub>13-5(1)</sub>—F<sub>13-</sub>断层带上,测点分布见图1。各测点试样岩性较单一,均为胶结良好的砂岩。第6测点试样取自垂深600m的-567m C组轨中巷水平钻孔内,岩芯试样距巷壁20m处。因该点已远离巷道的松动圈和支撑应力集中带,处于原地应力场范围,故AE粗估法所反映的是原地应力的最大主应力值。其余1、2、3、4、5、7测点试样分别取自巷道壁,且与第6测点试样的构造部位相当。其中第1测点-650中央皮带石门,垂深680m,岩性为粉砂岩;第2测点-650 C组北翼运中巷,垂深680米,岩性为中粒砂岩;第3测点深井N<sub>2</sub>回风石门E<sub>1</sub>处,垂深685m,岩性为细砂岩;第4测点深井N<sub>1</sub>回风石门B<sub>11c</sub>顶板,垂深685m,岩性为粉砂岩;第5测点深井N<sub>2</sub>回风道B<sub>6</sub>顶板,垂深685m,岩性为中粒砂岩;第6测点-553 C组轨中巷,垂深575m,岩性为中粒砂岩;第7测点深井-653m S<sub>1</sub>回风石门16<sup>#</sup>,垂深685m,岩性为细砂岩;第8测点深井-655m S<sub>41</sub>石门内,垂深685m,岩性为中细粒砂岩。

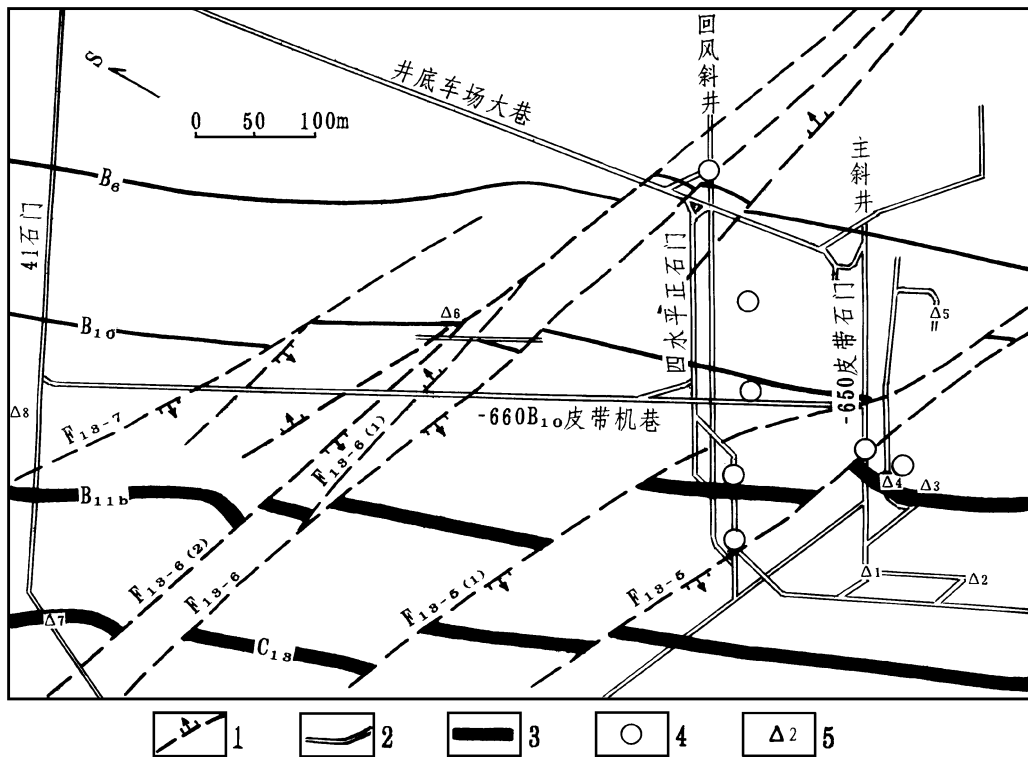


图 1 测点分布图

Fig. 1 Distribution of measurement site

1. 正断层及编号; 2. 巷道; 3. 煤层;
4. 煤和瓦斯突出点; 5. 取样点及编号

## 4 测量结果

AE粗估法地应力测量结果如表 1所示。如前所述,声发射粗估法测量要求在岩芯或岩块的任意 3个方向上取样,每个方向至少 3个试样,累计每个测点应不少于 10个试样。但由于受条件所限,除第 8测点满足要求外,其它测点均未达到要求。由于第 1至第 7测点所测试样数量不足,对其总的平均统计值有一定影响。尽管如此,我们仍可以通过测量结果综合分析,找出煤和瓦斯突出与地应力状态的大致规律。

表 1 谢二煤矿现今最大主应力估测值

Table 1 Statistical magnitudes of present maximum principal stress of the Xieer coal mine

测点	试样编号	岩性	不平行度 ( $l^2/m$ )	初压 (M Pa)	复压 (M Pa)	初、复压平均 (M Pa)	总平均值 (M Pa)
1	AE <sub>1-1</sub>	粉砂岩	≤ 10	38.9	28.2	33.6	33.0
	AE <sub>1-2</sub>		≤ 10	37.4	39.6	38.5	
	AE <sub>1-3</sub>		≤ 10	26.0	33.9	29.9	
	AE <sub>1-4</sub>		≤ 10	32.7	33.4	33.0	
	AE <sub>1-5</sub>		≤ 10	27.3	32.5	29.9	
2	AE <sub>2-1</sub>	中粒砂岩	≤ 10	30.0	30.7	30.4	30.2
	AE <sub>2-2</sub>		≤ 10	27.8	26.0	26.9	
	AE <sub>2-3</sub>		≤ 10	30.0	27.4	28.7	
	AE <sub>2-4</sub>		≤ 10	34.3	34.6	34.4	
	AE <sub>2-5</sub>		≤ 10	33.0	28.2	30.8	
3	AE <sub>3-1</sub>	细砂岩	≤ 10	35.8	30.3	33.0	30.8
	AE <sub>3-2</sub>		≤ 10	33.4	25.6	29.5	
	AE <sub>3-3</sub>		≤ 10	29.9	33.5	31.7	
	AE <sub>3-4</sub>		≤ 10	29.0	30.7	29.8	
	AE <sub>3-5</sub>		≤ 10	28.6	31.8	30.2	
4	AE <sub>4-1</sub>	粉砂岩	≤ 10	34.2	33.9	34.1	34.2
	AE <sub>4-2</sub>		≤ 10	35.4	36.4	35.9	
	AE <sub>4-3</sub>		≤ 10	29.4	34.1	31.8	
	AE <sub>4-4</sub>		≤ 10	32.7	36.8	34.8	
5	AE <sub>5-1</sub>	中粒砂岩	≤ 10	33.0	33.4	33.2	34.6
	AE <sub>5-2</sub>		≤ 10	30.2	35.9	33.0	
	AE <sub>5-3</sub>		≤ 10	34.3	37.4	35.8	
	AE <sub>5-4</sub>		≤ 10	30.0	30.3	30.2	
	AE <sub>5-5</sub>		≤ 10	37.8	36.9	37.4	
6	AE <sub>6-1</sub>	中粒砂岩	≤ 10	31.1	35.2	33.2	35.0
	AE <sub>6-2</sub>		≤ 10	30.1	35.0	32.6	
	AE <sub>6-3</sub>		≤ 10	34.8	34.7	34.8	
	AE <sub>6-4</sub>		≤ 10	36.8	35.4	36.1	
	AE <sub>6-5</sub>		≤ 10	36.3	-	36.3	

7	AE <sub>7-1</sub>	细粒砂岩	≤ 10	-	31.4	31.4	35.0
	AE <sub>7-2</sub>		≤ 10	-	36.0	36.0	
	AE <sub>7-3</sub>		≤ 10	37.7	32.7	35.2	
	AE <sub>7-4</sub>		≤ 10	36.4	39.7	38.0	
	AE <sub>7-5</sub>		≤ 10	32.4	35.6	34.0	
8	AE <sub>8-1</sub>	中细粒砂岩	≤ 10	17.6	16.4	17.0	17.1
	AE <sub>8-2</sub>		≤ 10	16.4	17.1	16.8	
	AE <sub>8-3</sub>		≤ 10	18.3	18.2	18.3	
	AE <sub>8-4</sub>		≤ 10	17.8	15.1	16.5	
	AE <sub>8-5</sub>		≤ 10	15.9	14.3	15.1	
	AE <sub>8-6</sub>		≤ 10	16.9	16.3	16.7	
	AE <sub>8-7</sub>		≤ 10	16.7	17.9	17.5	
	AE <sub>8-8</sub>		≤ 10	15.2	17.1	16.2	
	AE <sub>8-9</sub>		≤ 10	15.8	16.6	16.2	
	AE <sub>8-10</sub>		≤ 10	18.2	21.6	19.9	

## 5 结果分析

(1)第 6 测点取样距巷道壁 20m,已远离巷道的松动圈和支撑应力集中带,处于原地应力场范围,故 AE 粗估法所反映的乃是原地应力的最大主应力值

(2)第 1 2 3 4 5 7 测点试样分别取自巷道壁,且与第 6 测点构造部位相当,测得数值与第 6 测点相差不大,可见,直接从巷道壁取样做 AE 粗估法地应力测量,是能够反映原地应力最大主应力值的

(3)各测点垂深均在 600-700m 之间。根据估计现今水平最大主应力值的经验公式<sup>[5]</sup>

$$S = 7.3G + 0.0225H$$

式中, S 水平最大主应力值 (MPa); H 深度 (m)。

我们将计算出的理论值与 AE 粗估法地应力测量粗估值及应力状态、地带划分、煤与瓦斯突出发生的情况和瓦斯突出预测情况列入表 2

表 2 各测点对比统计表

Table 2 Comparison of the statistical results in the sampling spoints

测点	垂深 (m)	计算值 (MPa)	粗估值 (MPa)	应力状态	地带划分	瓦斯突出情况	瓦斯突出预测
1	680	22.66	33.0	高应力	危险	发生	发生
2	680	22.66	30.2	高应力	危险	发生	发生
3	685	22.77	30.8	高应力	危险	发生	发生
4	685	22.77	34.8	高应力	危险	发生	发生
5	680	22.66	33.9	高应力	危险	发生	发生
6	575	20.29	34.6	高应力	危险	未发生	发生
7	685	22.77	35.0	高应力	危险	未发生	发生
8	685	22.77	17.1	低应力	安全	未发生	不发生

表 2 看出,在第 1 至第 7 测点 AE 粗估法所测得的最大主应力值一般大于经验公式计算

出的应力值,一般高出 24.9%—41.4%,而第 8 测点粗估值明显低于计算值,显然第 1 至第 7 测点属于高应力状态,而第 8 测点为低应力状态。

(4) 第 1 至第 5 测点位于  $F_{13-5(1)}$  和  $F_{13-5}$  断层两侧。该地段屡屡发生煤与瓦斯突出,应力状态超常,属于煤与瓦斯突出的危险地带。

(5) 第 6 至第 7 测点位于  $F_{13-}$  断层上盘,尽管测点附近迄今尚未发生突出事件,但在该断层带上离测点稍远的地方,曾发生过煤和瓦斯突出,且两测点处应力值偏高,根据瓦斯富集与应力集中有关<sup>[6]</sup>来推断,该地段属于危险地段。

(6) 第 8 测点位于  $F_{13-}$  断层附近,用 AE 粗估法测得的最大主应力值低于理论计算值的 33%,只有第 1 至第 7 测点的 1/2,属低应力状态。迄今为止,在该断层带周围,均未发生过煤与瓦斯突出事故,属安全地带。

## 6 结语

煤和瓦斯突出与地应力状态有着密切的联系,前述谢二煤矿 8 个测点的最大主应力值大小和煤与瓦斯突出部位的分布基本一致。笔者根据煤田地质工作者对该区地质构造研究的成果,结合 AE 粗估法地应力测量,就该矿对地应力强弱区段所做出的判断与煤矿开采实际基本相符。换句话说,凡煤和瓦斯突出的危险地带,地应力状态均超常,而未发生煤和瓦斯突出的安全地带地应力状态则正常或偏低。

AE 粗估法地应力测量方法简单、实用。该方法只需在测点处采集能取  $10$  个以上  $\varnothing 25 \times 50\text{mm}$  小圆柱试样的岩芯或岩块,供室内测试即可。它不受环境或条件的限制,测试费用又大大低于其它地应力测量方法,作为一项预测手段,特别适合于煤矿煤与瓦斯突出的危险地带和安全地带的划分,对指导安全生产起重要作用。

丁原辰研究员主持此项研究工作,并指导作者进行 AE 粗估法地应力测量;淮南矿院地质系周治安教授为本研究工作提供了测试样品及地质资料,在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 汪西海、丁原辰、王红才,不同岩石声发射凯瑟效应的比较。见:地质力学与地壳运动,北京:地震出版社, p56—63, 1994
- 2 Kanagawa T., Hayashi M. & Nakasa H., Estimation of spatial geostress components in rock samples using the Kaiser effect of acoustic emission. Third Acoustic Emission Symposium, Tokyo, p229—248, 1976.
- 3 丁原辰,矿区地应力状态的声发射粗估法及其应用。煤炭工程师, 1992 (4): 50—56
- 4 汪西海、丁原辰,思林电站声发射粗估法地应力测量。中国青年学者岩土力学及其应用讨论会论文集,北京:科学出版社, p620—625, 1994
- 5 王连捷、王薇、袁嘉音,中国地应力测量的进展。地质力学文集,第九集,北京:地质出版社, 1989, p171—231
- 6 周治安,造成煤层压薄和增厚的正断层及“反牵引”正断层。中国地质科学院地质力学研究所所刊 (5),北京:地质出版社, 1985, p107—114

# A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN ROCK STRESS AND OUTBURSTS OF COAL AND GAS

Wang Xihai

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

**Abstract** The relationship between rock stress determined by AE method and the coal and gas bursts in the Xieer coal mine is given in this paper. It shows that the bursts occur in high stress areas, and none in normal or low stress areas.

**Key words** AE stress determination, outbursts of coal and gas

## 作者简介

汪西海,男,1952年生,副研究员。1975年毕业于华中理工大学电子工程系,主要从事同位素地质,声发射地应力测量等研究工作。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081

---

## 会议消息

《本刊讯》中国地质学会地质力学专业委员会拟于1997年11月,在北京召开《中国中、新生代大陆构造演化及环境变迁学术讨论会》。会议包括六个专题:1.走滑断裂系及其动力学机制;2.重要构造—岩浆—成矿带的形成演化与动力机制;3.陆内造山带特征与造山机制;4.地球深部过程;5.中国岩石圈块体运动特点的古地磁研究;6.环境变迁。

晚近时期以来的构造体系是地质力学的核心问题,而探索中、新生代大陆构造演化及环境变迁乃是当今地学研究的前沿和热点,这方面的学术讨论将给地质力学的发展提供新的领域。多年来,地质力学与相关学科的专家学者,经过大胆探索和实践,取得许多丰硕成果。这次学术讨论会将给各位学者提供相互交流和切磋的好机会。

本刊将对参加学术讨论会的论文优先录用。请参加会议的各位专家学者,按本刊投稿要求,在会前将论文寄送本刊编辑部,来稿请注明《会议论文》。本刊地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081

《地质力学学报》编辑部