

煤在瓦斯一维渗流作用下的初次破坏*

丁晓良 丁雁生 俞善炳

(中国科学院力学研究所)

提要 作者观察了煤在瓦斯一维渗流作用下的初次破坏,发现破坏煤体呈球冠状;临界破坏瓦斯超压取决于卸载条件,煤型的强度、半径和长度,以及煤型所受的侧压,但与瓦斯吸附特性无关。对实验例进行了数值分析,结果表明煤体的破坏属于拉伸破坏;卸载速率的增高,侧向围压的减小与煤型几何半径的增大将使得煤体在瓦斯渗流作用下更易于破坏。

关键词 煤, 破裂, 瓦斯渗流, 煤和瓦斯突出

一、引言

煤和瓦斯突出是发生在含瓦斯煤层中的一种煤和瓦斯的突然运动。在此突然运动过程中,煤层深处的大量煤体被破坏并和瓦斯一起抛向巷道,对井下采煤工作造成了严重威胁。根据采煤界多年的研究,在突出中导致煤体破坏的主要原因可能有:(1)煤层弹性潜能 E_e 的释放^[1],(2)游离瓦斯内能 E_g 的释放^[2]。在突出模拟实验中发现, E_g 或 E_e 的突然释放均可导致煤体破坏^[3];但据郑哲敏^[3]就我国大型突出实例所作的分析, E_g 比 E_e 大一至三个量级,因而突出中煤体破坏可能主要是在瓦斯渗流作用下产生。氏平等人就此进行了模拟实验与计算^[4,5],认为暴露面处的瓦斯压力突然降低会引起该面内侧煤体中的瓦斯渗流,形成瓦斯压力梯度,产生拉伸应力带并导致煤体破坏。他的工作仍有两点待改进之处:(1)在氏平等人所作实验中^[4],发现随着煤体的逐层开裂,破裂前沿的形状与该处的瓦斯压力变化并不易测定,因而实验难以和数值分析结果直接对比以说明煤体破坏类型及其过程;(2)氏平没有考察卸载速率、地压、巷道几何尺寸、瓦斯吸附特性等因素对煤体初次破坏的影响,而这些对于预报突出是否启动是必须的。为了深入了解煤体破坏过程及考察上述诸因素对突出启动的影响,作者观察了煤在瓦斯渗流作用下的初次破坏并对其进行了数值分析。

二、煤在瓦斯渗流作用下的破坏实验

1. 实验方案

实验系统示于图1。实验前先在钢筒内壁涂抹胶粘剂,然后在其中按一定压力 σ_p 分层(层厚与钢筒半径相同^[6])压制配有一定水分的煤粒,使其成为具有一定物性的煤型(见表1)。

* 中国自然科学基金会资助项目。

本文为编委谈庆明同志推荐。于1988年9月16日收到。

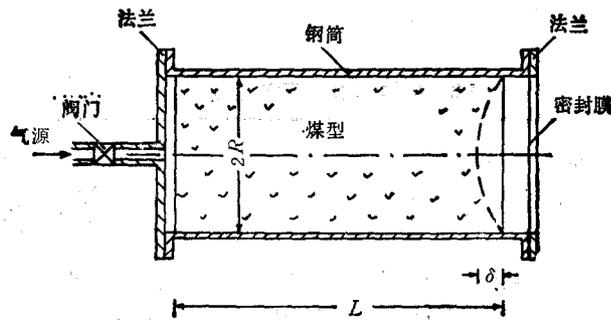


图1 模拟实验系统示意图

 δ ——破碎球冠厚度

表1 煤型的物性参数

成型压力 σ_p (MPa)	煤型号 M_{ij}	孔隙率 δ^*	渗透系数 $\kappa^* (10^{-13} \text{m}^2)$	弹性模量 $E^* (\text{MPa})$	Poisson 比 ν^*	抗拉强度 $\sigma_t^* (0.01 \text{MPa})$
粒度 $d = 0.1-0.2 \text{mm}$, 含水量 $0.081w_p^{\ddagger}$						
1.0	M_{11}	0.29 ± 0.01	4.1 ± 0.1	22 ± 2.1	0.29 ± 0.03	0.7 ± 0.06
2.0	M_{12}	0.25 ± 0.01	3.1 ± 0.2	—	—	1.2 ± 0.05
粒度 $d = 0.2-0.3 \text{mm}$, 含水量 $0.081w_p^{\ddagger}$						
1.0	M_{21}	0.29 ± 0.01	23 ± 2	—	—	0.7 ± 0.06
2.0	M_{22}	0.22 ± 0.01	1.4 ± 0.02	36 ± 3.5	0.24 ± 0.03	0.9 ± 0.09

* 五次或五次以上实验平均值土标准差。

† 三次或三次以上实验平均值土标准差,由力学所叶东英等同志测试。

‡ w_p ——干煤粉重量。

为考察突然暴露面处瓦斯压力卸载速率对煤体破坏的影响,我们在瓦斯非定常与定常渗流条件下进行实验。在前一情况下,我们先将钢筒密封并充瓦斯至一定超压,待瓦斯压力达到平衡后关闭钢筒与气源间阀门,突然打开密封膜,使含有瓦斯的煤的一端暴露在大气中,模拟放炮或打开石门的一维突然卸载所引起的突出;在后一情况下,我们使煤型下游端保持为大气压,缓缓升高煤型上游小空腔(见图1)内的瓦斯超压,使煤型中达到一维定常渗流,模拟煤巷中没有进行任何作业时自行发生的突出。

在实验中,我们改变成型压力 σ_p 、钢筒内半径 R 、气体种类来考察煤体强度、地压、巷道几何尺寸、瓦斯吸附特性对煤体初次破坏的影响。

2. 实验结果

在非定常渗流条件下,我们观察到随初始瓦斯超压 ΔP_0 的增加,击破密封膜后筒内煤型依次发生三类情况:(1)若 ΔP_0 低于某临界值 ΔP_{c1}^* ,煤体中仅有渗流而不破坏;(2)若 ΔP_0 等于或略大于 ΔP_{c1}^* ,煤体发生初次破坏,破坏煤体成球冠状(见图1);(3)若 ΔP_0 约大于 $2\Delta P_{c1}^*$,破坏将以薄片状多层开裂的方式向煤体内部扩展,作者曾对破坏扩展进行了分析^[6]。

在定常渗流条件下,我们观察到当煤型上游瓦斯超压达到某临界值 ΔP_{c2}^* 时,煤体发生初次破坏,破坏煤体仍成球冠状。

表2给出了 ΔP_{cr} 与球冠厚度 δ 的实测值。可见当煤型物性、半径与长度相同时， $\Delta P_{cr}^i > \Delta P_{cr}^d$, $\delta_i > \delta_d$ 。

表2 煤体初次破坏实验数据

煤型号 M_{ij}	煤型半径 R (0.001 m)	煤型长度 L (0.001 m)	侧壁挤压力 σ_0^* (MPa)	定常渗流			非定常渗流			
				ΔP_{cr}^{i*} (MPa)	δ_i^* (0.001m)	N^{\S}	ΔP_{cr}^{d*} (0.1MPa)	δ_d^* (0.001 m)	$T^{\#}$ (0.001s)	N^{\S}
M_{11}	30.5	225	-0.34 ± 0.02	0.26 ± 0.03	9 ± 1.7	1-1	0.28 ± 0.03	6.7 ± 0.8	1.4	1-2
M_{22}	71.5	191	-0.22 ± 0.02	0.17 ± 0.007	23 ± 1.3	2-1	0.26 ± 0.04	12 ± 2.8	2.1	2-2

* 五次实验平均值±标准差
 \S N ——相应计算例编号
 $\#$ T ——卸载时间,参见(11)式

表1与表3表明随 σ_p 的增大,煤型强度与侧壁挤压力增大,这将导致 ΔP_{cr} 增加(图2)。

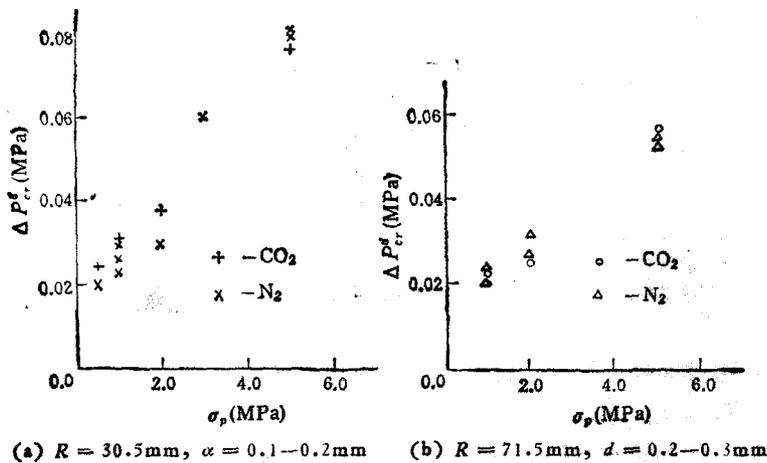


图2 气种与成型压力的变化对煤体初次破坏的影响

图3表明当成型压力一定而模型半径增大时, ΔP_{cr} 减小。对上述实验现象的讨论将在第三节中进行。

表3 不同成型条件下侧壁挤压力[‡]

σ_p (MPa)	$R = 71.5\text{mm}$		$R = 30.5\text{mm}$	
	$n^{\#}$	$-\sigma_0^*$ (MPa)	$n^{\#}$	$-\sigma_0^*$ (MPa)
1.2	4	0.15 ± 0.02	3	0.34 ± 0.02
2.0	9	0.22 ± 0.02	—	—
3.0	3	0.34 ± 0.04	5	0.52 ± 0.08
4.0	2	0.55 ± 0.01	3	0.63 ± 0.07
5.0	12	0.69 ± 0.06	5	0.70 ± 0.09

[‡] 煤粒直径为 0.1—0.2mm
 $\#$ 样本个数
 $*$ 其测定与计算请见第三节

表 4 充不同气体时的球冠厚度

气体	R = 0.0305m		R = 0.0715m	
	n*	δ_d (0.001m)	n*	δ_d (0.001m)
N ₂	9	6±1.6	13	14±3.6
CO ₂	13	7±1.5	4	16±4.3

* 试验次数

改变气体种类的实验是在非定常渗流条件下进行的。根据 Ходот 给出的数据^[1]与朱连山等人的测量^[7], 气体由 N₂ 改为 CO₂ 将导致吸附量增大大约 5 倍。由图 2 与表 4 可见吸附气量的上述改变并不导致 ΔP_c^e 与 δ_d 的系统差别。这是因为煤体破坏时间约为毫秒量级 (见表 2 中卸载时间 T , 还可参见文献 [6])。而据孙重旭的测量^[8]与郑哲敏、丁雁生的计算^[9]可知, 粒径为 0.2—0.25 mm 的煤粒中吸附瓦斯的解吸需要数分钟的时间。因而在讨论煤体破坏的场合, 瓦斯解吸还来不及发生, 可不考虑瓦斯解吸的影响。

三、煤在瓦斯一维渗流作用下的破坏机制

在上节所述实验中, 初、边值条件及破坏后煤片形态均可测定, 故可平行进行数值计算以分析煤在瓦斯渗流作用下的破坏机制和各物理因素的影响。

本节将先给出计算有效应力分布问题的数学提法, 然后再讨论提法中煤型侧壁边界条件的具体确定与渗流压力场的计算。最后给出实验例的分析结果。

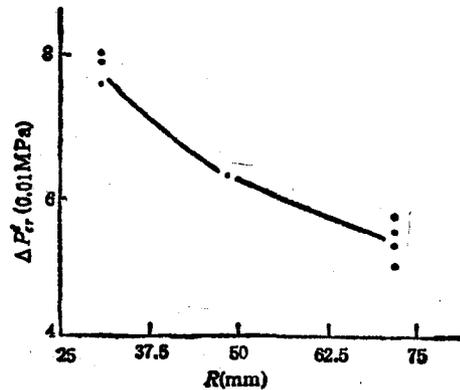
1. 计算有效应力分布问题的数学提法

首先引入下述假定: (1) 物理量是连续的, (2) 破裂前煤体处于小变形状态, (3) 破裂前固相惯性力可以忽略, (4) 材料均匀, (5) 材料各向同性, (6) 应力与应变、孔隙压力与正应变之间关系为线弹性, (7) 多孔介质骨架的等效弹性模量远小于不含孔隙的骨架母体材料的弹性模量, (8) 破裂前气相动量项可以忽略, (9) 破裂前瓦斯解吸作用可以忽略, (10) 游离瓦斯渗流经历理想气体的等温过程。

据假定 (4)—(6), Nur 与 Byerlee^[10] 证明含气煤的应变由有效应力控制。由丁晓良所述含气煤的拉伸实验^[6] 可知含气煤的拉伸破坏服从最大有效拉应力准则, 故应对有效应力分布进行讨论。当假定 (7) 成立时, 有效应力张量 σ'_{ij} 的定义为^[10]

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} + P\delta_{ij} \quad (1)$$

式中 σ_{ij} 为应力张量, P 为孔隙中气体压力。我们约定正应力分量以拉为正。

图 3 煤型半径对初次破坏影响煤型号 M₁₁

据假定(2),煤型中固相运动相对气相运动很小,气相渗流可近似看作为一维,并且与有效应力分布问题可以解耦。若将 z 看作参数,则由于非定常渗流引起的煤体应力分布问题便转化为边值问题。

考察第 2 节所述实验,煤型中的有效应力是由两种物理作用引起:(1)由于煤型侧面与钢筒间摩擦约束的存在,使得 σ_p 卸载后但无渗流时煤型中已有一定的有效应力分布,我们称其为有效应力场 I,它具有如下特点:瓦斯压力梯度 $\partial P/\partial z$ 为零,煤型侧壁受到了径向压缩位移 $-\Delta u_1$ (其确定见本节第二部分),煤型侧壁的轴向位移与煤型端面的有效应力保持为零;(2)由于瓦斯渗流引起的有效应力场,我们称其为有效应力场 II,它具有如下特点:给定因渗流而形成的瓦斯压力分布 $P(z, t)$ (见本节第三部分),因而 $\partial P/\partial z$ 是已知的,但煤型侧壁的径向、轴向位移和煤型端面的有效应力保持为零。因为问题是线性的,可分别分析 I、II 两类应力场,尔后将其叠加而得总的有效应力场。

基于上述讨论并注意问题的轴对称性,我们给出计算煤型中有效应力的完整提法如下:

据假定(1)~(3),(8)与有效应力定义式(1),可导得应力平衡方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma'_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} - \frac{\partial P}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma'_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma'_r - \sigma'_\theta}{r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 σ'_z , σ'_r , σ'_θ 为轴向、径向、周向正应力, r, z 为径向与轴向坐标,以渗流方向为 z 轴正向。

据假定(4)~(6),可导得应力应变关系^[10]

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_r &= \lambda e + 2G \frac{\partial u_r}{\partial r} \\ \sigma'_\theta &= \lambda e + 2G \frac{u_r}{r} \\ \sigma'_z &= \lambda e + 2G \frac{\partial W}{\partial z} \\ \tau_{rz} &= G \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 λ, G 为 Lamé 参数, $e = \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial W}{\partial z}$ 。

在煤型两端自由面上,剪应力为零,正应力为气体压力,由有效应力定义式(1)可知该处在 $z=0$ 与 $z>0$ 时均有

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_z|_{z=0} = \sigma'_z|_{z=-L} &= 0 \\ \tau_{rz}|_{z=0} = \tau_{rz}|_{z=-L} &= 0 \quad 0 \leq r \leq R \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

煤型侧壁边界条件(详见本节第二部分):

$$\left. \begin{aligned} W|_{r=R} &= 0 \\ u_r|_{r=R} &= -\Delta u_1 \quad -L \leq z \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式(2)~(5)构成了求解煤型中有效应力的完整提法,按照虚功原理将方程(2.1)中

$-\partial P/\partial z$ 项移置至节点, 便可用有限元程序求解煤型中有效应力场。

2. 煤型侧壁的边界条件

先考虑有效应力场 I 的煤型侧壁约束条件。在钢筒外壁粘贴应变片测量 σ_p 卸载后钢筒环向残余应变 ε_θ 沿煤型长度的分布, 发现自煤型端部量起 0.01m 以内 ε_θ 的不均匀程度小于 12%, 这说明煤型端部效应影响范围较小, 故可将 ε_θ 的平均值代入承受内压钢筒的弹性力学解, 求得卸载后煤型侧壁与钢筒间的平均压力。由于测定 ε_θ 时钢筒内外均有大气压, 导致钢筒变形的仅为应力中有效应力成份, 故此平均压力为有效的正应力, 称 σ'_0 , 其值如表 3。

为模拟上述挤压作用, 假想煤型受到了钢筒的等效径向箍缩, 其含义如下:

1) 在假想箍缩过程中不允许煤柱侧面与钢筒间有滑移, 故有

$$W_1|_{r=R} = 0 \quad -L \leq z \leq 0 \quad (6)$$

2) 以 $-\Delta u_1$ 表示煤型侧壁受到的等效径向压缩位移, 即

$$u_{r1}|_{r=R} = -\Delta u_1 \quad -L \leq z \leq 0 \quad (7)$$

以 $\sigma'_{r1}|_{r=R}$ 表示由于边界条件(4), (6), (7)所引起煤型侧壁的有效应力, 则 $-\Delta u_1$ 之值系根据下述近似等效式选定:

$$\sigma'_{r1}|_{r=R} \approx \sigma'_0 \quad -L < z < 0 \quad (8)$$

图 4 给出了表 2 中算例 1-1, 2-1 在 $\Delta P = 0$, Δu_1 各为 0.00032, 0.00029m 时 $\sigma'_{r1}|_{r=R}$ 沿 z 轴的分布。算例 1-1 在 96% 的长度范围内 $\sigma'_{r1}|_{r=R}$ 与 σ'_0 的相对误差小于 12%, 算例 2-1 在 90% 的长度范围的相应误差小于 13%。

再考虑有效应力场 II 的煤型侧壁约束条件。当煤型中有渗流时, 钢筒会因内外气压不等而产生正的径向位移 Δu_{II} 。但在初次破坏实验场合, $z = 0$ 附近的瓦斯超压比 σ'_0 要小一个量级, Δu_{II} 相对于 $-\Delta u_1$ 可以忽略。叠加后的径向位移条件仍可用 (5.2) 式表示。在渗流过程中煤型侧壁无滑移。叠加后的柱面轴向位移条件仍如 (5.1) 式所示。

3. 渗流压力场的计算

俞善炳^[11]首次建立了气固两相各以不同速度作一维运动, 相间有质量运输的气相质量守恒方程与动量守恒方程。引入假定(2), (8)或(8), (9)后, 气相动量守恒方程均可退化为 Darcy 定律, 再引入假定(4), (10)后可得在一维渗流时有

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{kP}{\varepsilon\mu} \frac{\partial^2 P^2}{\partial z^2} \quad (9)$$

式中 k 、 ε 为煤的渗透系数与孔隙率, μ 为瓦斯粘性系数。注意到初值条件 $P = P_i$ 及边界条件

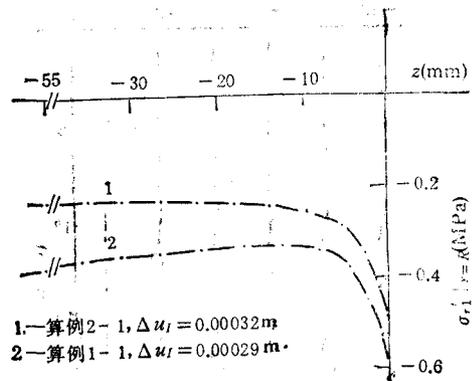


图 4 取等效压缩位移算得煤型侧壁应力

$$\begin{aligned} P|_{z=-L} &= P_0, \\ P|_{z=0} &= P(t), \end{aligned} \quad (10)$$

便可求得 $P(z, t)$ 的数值解。

式(10)中 $P(t)$ 为自由面处瓦斯压力变化。据实测,它可近似写为

$$P(t) = \begin{cases} P_0 + (P_1 - P_0)\left(1 - \frac{t}{T}\right) & 0 \leq t \leq T \\ P_0 & T < t \end{cases} \quad (11)$$

式中 T 为 $P(t)$ 由 P_1 降至 P_0 所需时间,其值如表 2 所示。

在定常渗流时,方程(9)成为常微分方程,式(10.1)仍成立,(10.2)中 $P(t) = P_0$, 易于解得

$$P^2 = -\frac{z}{L} (P_1^2 - P_0^2) + P_0^2 \quad (12)$$

4. 煤在瓦斯一维渗流作用下的破坏机制

计算实例数据列于表 2。相应煤型号的物性参数由表 1 给出。

图 5, 6 给出了算例 1-1 的有效主应力场与最大剪应力轨迹。其余算例的应力分布图是类似的。可见最小有效主应力轨迹(压应力较大者)与初次破坏煤体形态是相符的,而最大剪应力轨迹并不组成一个有意义的破坏包络。

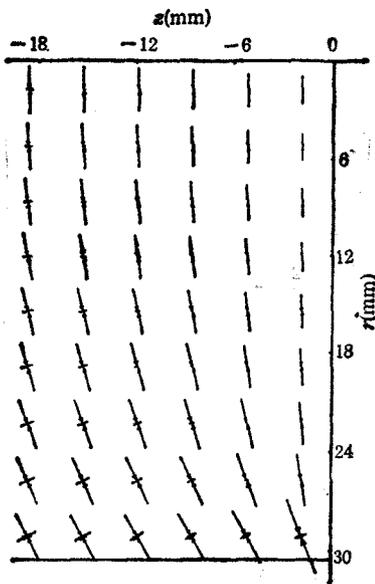


图 5 自由面附近有效主应力场
算例 1-1, 应力比例尺 0.80MPa/cm

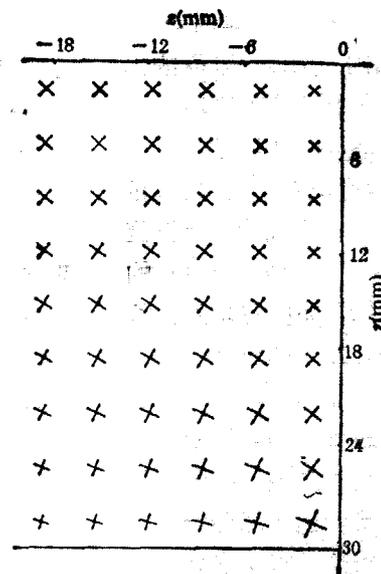


图 6 自由面附近最大剪应力轨迹
算例 1-1, 应力比例尺 0.82MPa/cm

在自由面附近最大有效主应力 σ_1' 的分布具有两个特点: 1) $\sigma_1'|_{r=\text{const}}$ 随 r 减小单调地由压应力变为拉应力,并于轴线上达到最大值(图 7); 2)在轴线附近, $\sigma_1'|_{r=\text{const}}$ 沿 z 的分布具有峰值,其值与抗拉强度为同一量级,峰值对应位置 z_1, z_0 分别与 δ_1, δ_0 的实验值相对应(图 8)。

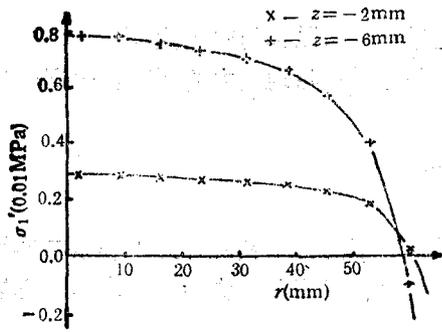


图 7 $\sigma'_{11}|_{z=0}$ 随 r 的变化,算例 2-1

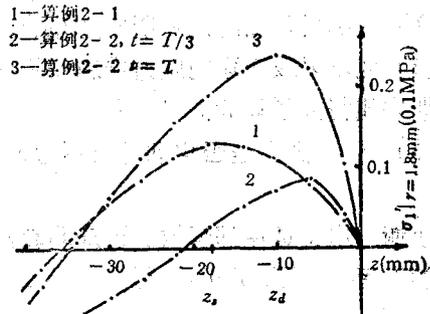


图 8 $\sigma'_{11}|_{r=1.8\text{mm}}$ 随 z 的变化

综合上述分析可以推论：在瓦斯渗流作用下煤体中有效应力先于自由面附近、轴线上某点达到抗拉强度，使煤体产生 I 型微裂纹并沿最小主应力轨迹(球冠状)发展成为宏观破坏。

现在我们来讨论卸载速率、侧壁挤压力、煤型半径等因素对初次破坏的影响。

在非定常渗流条件下，由于卸载速率的增高，自由面附近瓦斯压力梯度更为陡峭，有效拉应力峰值增大并向自由面移动(图 8)，使得煤体在较低的 ΔP_0 作用下便发生破坏，即 $\Delta P_0' < \Delta P_0$ ，而 $\delta_a < \delta_0$ 。

为考察侧壁压力的影响，我们将图 9 中总的有效应力曲线③分解成为曲线①与曲线②之叠加。数值试验表明：1) 当半径固定而侧压增大时， $\sigma'_{11}|_{r=0}$ (曲线①)的绝对值增大，欲使煤体破坏须有较高的 $\sigma'_{11}|_{r=0}$ (曲线②)与之叠加，这将引起 ΔP_0 增大(图 2)；2) 当侧压一定而半径增大， $\sigma'_{11}|_{r=0}$ 的绝对值减小，欲使煤体破坏仅需较小的 $\sigma'_{11}|_{r=0}$ 与之叠加，这将引起 ΔP_0 下降(图 3)。

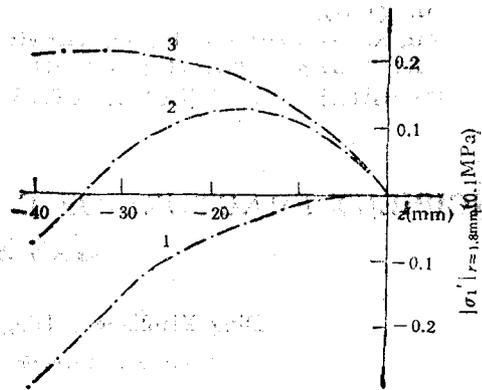


图 9 预有效应力与渗流引起有效应力的叠加,算例 2-1

1— $\sigma'_{11}|_{r=1.8\text{mm}}$ 2— $\sigma'_{11}|_{r=1.8\text{mm}}$
3— $\sigma'_{11} = \sigma'_{11} + \sigma'_{11}$

四、结论、建议与讨论

1. 结论

(1) 本文对煤体初次破坏实验例的数值分析表明，当有效应力场的边界条件(4)，(5)保持不变而瓦斯压力梯度增大时，煤体中有效应力增大以至拉裂。但这里的讨论并不排除在其它条件(例如轴对称渗流)下存在剪切或拉剪组合破坏的可能。

(2) 卸载速率的增高，煤型侧向围压的减小与半径的增大将使得煤体在瓦斯渗流作用下更易于破坏。

(3) 煤体初次破坏主要是在游离瓦斯渗流作用下产生，吸附瓦斯解吸对煤体破坏的影响可以忽略。瓦斯解吸对破坏向煤体内部持续扩展的影响将另文叙述。

(4) 本文结论对研究砂岩、钾盐与二氧化碳突出启动的机制也是适用的。

2. 建议与讨论

- (1) 减小暴露面附近瓦斯压力卸载速率与巷道尺寸可以预防突出启动。
- (2) 现场采取卸除地应力措施预防突出的机制在于卸除地应力的同时, 煤层中积蓄的瓦斯内能得到释放。
- (3) 在预测突出是否启动时可不考虑瓦斯解吸指标。

致谢 本文是在郑哲敏、谈庆明教授的指导下完成的。中科院计算中心蔡中熊副教授帮助作者熟悉了 ADINA 程序, 王维山同志协助进行了实验, 作者在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Ходот, В. В., Внезапные Выбросы Угля и газа, Госгортехиздат, Ленинград (1964).
- [2] Христианович, С. А., О волне дробления, Изв АН СССР ОТН, 12(1953), 1689—99.
- [3] 郑哲敏, 从数量级和量纲分析看煤和瓦斯突出的机理, 力学与生产建设, 北京大学出版社 (1982), 128—37.
- [4] 氏平增之, 矶部俊郎, 樋口澄志, 内部ガス圧による多孔質材料の破壊プロセスについて—ガス突出に関する研究(第二報)—, 日本鉱業会誌, 100(1984), 397—403.
- [5] 氏平增之, 内部ガス圧を有する材料の開放端近傍のガス圧分布と応力分布について—ガス突出に関する研究(第三報)—日本鉱業会誌, 101(1985), 283—88.
- [6] 丁晓良, 煤在瓦斯渗流作用下破坏及其持续扩展的机制, 博士学位论文, 中国科学院力学研究所 (1988).
- [7] 朱连山, 陈光轩, 突出危险煤层与非突出危险煤层煤比表面积测定, 煤与瓦斯突出机理和预测预报第三次科研工作及学术交流会议论文选集, 煤炭科学研究院重庆研究所 (1983), 89—96.
- [8] 孙重旭, 煤样解吸瓦斯泄出的研究及突出煤样瓦斯解吸的特点, 同[7], 35—48.
- [9] 郑哲敏, 丁雁生, 瓦斯突出的初步研究, 国际采矿科学技术讨论会论文集, 采矿工程分会II, 中国矿业学院, 13a2, (1985).
- [10] Nur, A., and Byerlee, J. D., An exact effective stress law for elastic deformation of rock with fluid, *J. Geophys. Res.*, 76, (1971) 6414—9.
- [11] 俞善炳, 恒稳推进的煤与瓦斯突出, 力学学报, 20, 2(1988).

INCIPIENT FRACTURE OF COAL UNDER ONE DIMENSIONAL GAS SEEPAGE

Ding Xiaoliang Ding Yansheng Yu Shanbing

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract The fracture of coal under one dimensional gas seepage is investigated. The experiments show that the incipient fracture of coal takes the shape of a spherical crown; the critical gas overpressure is dependent on the unloading condition, the strength, radius, confining pressure, length of the sample, and independent of the characteristics of gas adsorption. Numerical analysis demonstrates that the fracture belongs to tensile mode; the increase of unloading rate, decrease of confining pressure and increase of radius of the sample will cause the coal to fracture more easily under gas seepage.

This research will be helpful for understanding the initiation of gas and coal outbursts.

Key words coal, fracture, gas seepage, gas and coal outbursts