

煤、岩石和瓦斯突出

国外资料汇编

(第三集)

科学技术文献出版社重庆分社

一九八〇年八月

**煤、岩石和瓦斯突出
国外资料汇编
(第三集)**

中国科学技术情报研究所重庆分所	编 辑
科学技术文献出版社重庆分社	出 版
重庆市市中区胜利路91号	
四川省新华书店重庆发行所	发 行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂	印 刷

开本787×1092毫米 1/16 印张: 11.250 字数28万
1980年8月 第1版 1980年8月 第1次印刷
科技新书目: 173—136 印数: 1340

书号: 15176·427.

定价: 1.15元

综 述

突出理论的发展和防止突出方法的改进·····	(1)
瓦斯突出·····	(7)
瓦斯突出的发生和表现形式·····	(15)

机 理

根据瓦斯突出各种现象对“瓦斯突出理论”和“实验证明”的考察···	(25)
被开采煤层突然压出过程的数值研究·····	(31)
岩层地质构造与瓦斯突出的关系·····	(36)
作为煤层突出危险条件之一的近代构造应力·····	(41)
关于瓦斯突出煤的形状和碳化程度的研究·····	(44)
突出时煤的破碎功·····	(55)
煤和瓦斯突出时在岩体中产生振动-波动过程的原因及其参数···	(60)
岩石突出的振动-波动机理·····	(65)
煤和瓦斯突出发生的原因·····	(70)
突出危险煤层中温度变化的研究·····	(71)
煤和瓦斯突出强度与煤层参数的关系·····	(75)
关于用独立的热力学过程描述突出现象的问题·····	(79)
突出危险砂岩岩体卸压和瓦斯抽放对其力学性质变化的影响·····	(82)
发生瓦斯动力现象时沼气泄出量的研究·····	(84)
采矿技术因素对煤和瓦斯突出显现的影响·····	(86)

预 测

工作面附近煤层突出危险标准·····	(88)
--------------------	------

在预测煤和瓦斯突出时应用二重波阿松概率分布的可能性·····	(92)
一次中等岩石突出前的地震活动异常: 事例 研究·····	(96)
用分子探测方法查明煤层中的潜在突出危险带·····	(101)
用煤岩学方法研究一次煤和瓦斯突出·····	(103)
突出危险砂岩应力状态的测定是预测煤、岩石和瓦斯	

突出的重要因素·····	(118)
用高效采煤机开采时煤层突出危险性的预测·····	(120)
煤层突出危险性随深度而变化的特点·····	(122)
在突出危险状态下声响后效频谱的变化·····	(125)
聚合电解质对突出危险煤和砂岩的亲水性的影响·····	(126)

预 防

解决突出问题的系统方法·····	(127)
防止突出措施·····	(130)
深部石门掘进通过危险煤层时加强预防瓦斯突出的措施·····	(139)
煤和瓦斯突出密度和强度的降低·····	(153)
开采上卡姆斯克钾盐矿床时对突出危险的控制·····	(157)
用机械水力方法造成超前空洞和超前槽以防止	

煤和瓦斯突出·····	(161)
顿巴斯开采上解放层的急倾斜突出危险煤层的瓦斯抽放·····	(163)
在通风水平标高以下进行急倾斜突出危险煤层的采准·····	(165)
怎样确定沿突出危险煤层掘进采准巷道的速度·····	(168)
在突出危险煤层的工作面附近形成卸压带的时间·····	(169)
在沿倾斜推进的采煤工作面中防止突出的措施·····	(171)
提高缓倾斜突出危险煤层柱式开采法的安全性和效率·····	(174)
顿巴斯煤矿防止煤和瓦斯突出方法使用效果的检查·····	(177)

止突出方法的改进

В. В. Ходот

以一个总的术语《煤或岩石和瓦斯突出》所表示的动力现象，不论按其发生原因，还是按其发展机理，都是各式各样的。为了改善预测和防止这些现象的方法，首先必须调整它们的术语和分类。在示意图(图1)采用了各种动力现象的通用名称并表明它们所属的类别。凡岩石和煤的潜能及它们之中所含沼气的内能参与了激发和发展的，属于瓦斯动力现象一类。突然压出，按其发生机理，接近于冲击地压，只是在其伴随有强烈瓦斯涌出时才属于瓦斯动力现象。气体喷出有时与突出混为一谈，其实它们之间有本质的差别；从理论上讲，气体喷出与其说是瓦斯动力现象，不如说更接近于液体喷出，因为在它们的发动过程中岩石的弹性潜能作用不大。岩石和瓦斯突出属于瓦斯动力现象中单独的一类，因为只在放炮时引起突出，并且发生在力学性质与煤迥异的岩石中。

因此，防止煤和瓦斯突出的理论和实

现象, 这些瓦斯动力现象的共同点是:

1. 发生在强度低、孔隙率高、裂隙多、瓦斯含量大和吸着容量大的岩层(煤层)中;
2. 发生在工作面附近的煤层地带, 在这里, 煤层处于具有高的应力梯度和瓦斯压力梯度的特殊状态(临界应力状态);
3. 外部的激发因素是: 掘进巷道、放炮崩落、顶板下沉和煤层突然卸压, 表现为紧靠工作面的煤层地带破坏, 使分布较深的高应力和高瓦斯压力带的煤暴露;
4. 从这个危险带的煤暴露时开始自然发展(由于煤层弹性潜能释放和煤层中的瓦斯压力作用), 发展的形式是成层剥落或破坏波传播;
5. 与煤的强烈破碎有关。由于煤的破碎, 大量游离和吸附的瓦斯涌出, 其速度足以在巷道中形成悬浮在瓦斯中的煤流。

瓦斯动力现象机理的许多特点可用临界应力带中煤的性质来解释。在此带中, 由于发展并重新形成了裂缝和滑动面, 煤的连续性被破坏, 载荷稳定性由煤体向工作面方向降低, 透气性增加。与此同时, 被削弱面分隔开的各别单元, 还保存着与煤体相同的弹性性质和强度, 与围岩的力的联系丝毫也未破坏, 保存的弹性潜能数量能够作巨大的功。发生在与围岩体保存着力联系的煤层的破坏, 应该区别于与煤层剥落和煤的破碎有关的破坏。换言之, 第一类破坏可称之为向临界状态的转变, 第二类破坏则是煤体破

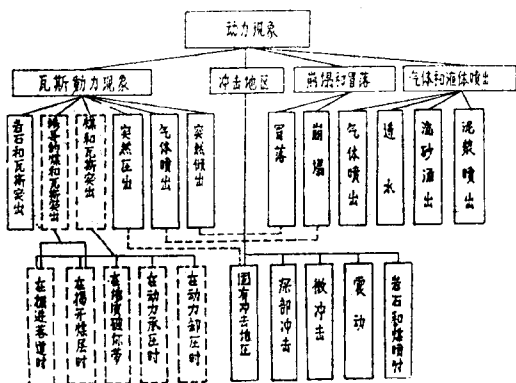


图1 动力现象分类示意图

碎成煤块和煤粉。

在临界应力状态下煤层具有以下特点：只有最大应力值取决于施加的载荷，应力的分布则决定于承载煤层的力学特性（内摩擦角、粘着系数、与围岩接触处的摩擦）；与煤体深处在各向压缩条件下发生的情况相似，煤实际上能承受岩石重量 γH 的无限大载荷。随着载荷增加，临界状态带的长度 x_m 和遭受第一类破坏的煤的体积增大，但是由于煤体深处的煤层稳定性增加，临界状态带对煤体起着屏障作用，在屏障后面，固体压缩可能达到很大的数值。上述情形只在加载速度不大的情况下是正确的，因为慢速加载可以认为是静载荷。至于煤的强度，它只影响到应力梯度和 x_m 值，该值随载荷的增大而增大。煤层的这种性质与承载时自然确立的主应力的一定比值有关。因此，没有明显塑性流动的普通煤或无烟煤，在自然条件下的似静态加载时，只产生第一类破坏。对于瓦斯动力现象所特有的第二类破坏，必须具备其他的加载条件。

瓦斯在临界状态带的作用不同于它在未扰动煤体中的作用，因为它具有很大的压力梯度，而这个梯度的方向是沿着巷道中心的。以游离状态和吸附状态存在于煤和岩石的裂隙和孔隙中的沼气，对固体有三方面的作用：全面压缩煤的骨架，因而增加煤的强度；吸附在微孔表面的沼气对微孔起着楔子作用，因而降低煤的强度；在煤层中存在瓦斯压力梯度时，又引起作用于梯度降低方向的力。在这个方向，压力不是作用在煤层的全断面上，而只作用在部分断面上，该断面和脱离接触的面积与煤结构单元的总面积的比值成比例。

图2所示是工作面附近煤层地带的模型。煤层由被裂缝或其他削弱面分隔开的单元（块段）1所组成，沿裂缝或削弱面起作用的力有：摩擦力2和粘着力3，以及煤层和围岩接触面的摩擦力4。煤层承受围岩的载荷 γH ，它由于煤体中的瓦斯压力 P 而减小，瓦斯压

力梯度指向表面。由于岩石重量的载荷，在煤层中引起垂直应力 σ_1 和它激发的煤层平面应力 σ_3 和 σ_2 （后者垂直于图面）。在临界状态带，由于摩擦力和粘着力5反抗由 σ_3 应力梯度决定的力，建立了平衡。部分摩擦力和粘着力被瓦斯压力 P 所平衡。因此降低了煤层的承载稳定性。除了由于存在沼气压力梯度而引起的力外（图2，曲线 P ），瓦斯还作用于煤层的每个点，全面压缩煤的骨架（箭头6），这也促使在块段中积蓄弹性潜能。假定沼气对煤骨架的全面压缩对工作面附近煤层地带的应力分布没有影响（有重大影响的只是瓦斯压力梯度）。把图2所表示的情况用分析法表述成确定煤层每点应力与该点到工作面的距离 x （在临界状态范围内）的函数关系的方程式。可以选择工作面附近含瓦斯煤层应力状态的任何合适的数学模型，其条件是能够计算出煤层积聚的潜能和该潜能转变为第一类和第二类破坏功的速度。

例如，根据作者早先提出的对煤层平衡状态的近似解，能够写出主应力的方程式：

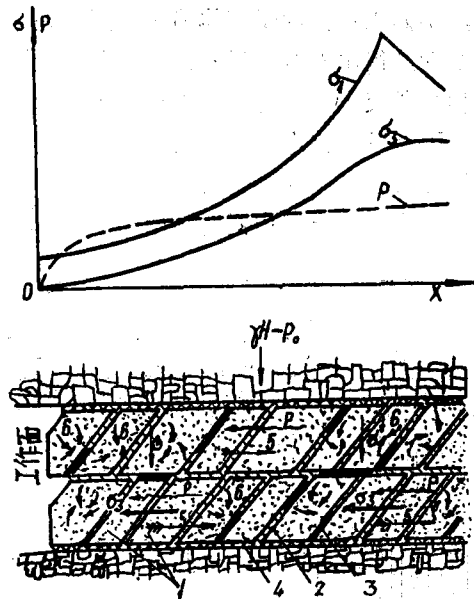


图2 工作面附近含瓦斯煤层应力状态模型：
 x —到巷道工作面的距离。

$$\sigma_1 = K\nu l^{\varphi X} + \frac{\lambda c p_0 \xi}{\varphi + \xi} (l^{-\xi X} - l^{\varphi X}) \approx$$

$$\approx e^{\varphi X} \left(K\nu - \frac{\lambda c p_0 \xi}{\varphi + \xi} \right), \quad (1)$$

$$\sigma_3 = \frac{K\nu}{\lambda} (l^{\varphi X} - 1) + \frac{c p_0 \xi}{\varphi + \xi} (l^{-\varphi X} - l^{\xi X}) \approx$$

$$\approx l^{\varphi X} \left(\frac{K\nu}{\lambda} - \frac{c p_0 \xi}{\varphi + \xi} \right), \quad (2)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (3)$$

式中K—煤的粘着系数；

λ 和 ν —内摩擦角 ρ 的函数，其值分别为

$$2-3 \text{ 和 } 3-3.5;$$

$$\varphi = \frac{2f\lambda}{m};$$

f —煤岩摩擦系数；

m —煤层厚度；

x —到煤层边缘的距离；

ξ —考虑到在巷道影响带内瓦斯压力 p 发生重大变化的区段长度 l 的系数，

$$\xi = \frac{3}{l}.$$

利用弹性理论的原则，从公式(1—3)能计算出以煤层应力状态为转移的潜能 Θ_H ；如果在 Θ_H 中加上瓦斯全面压缩煤骨架而产生的潜能 Θ_r ，就得出总的潜能 Θ ：

$$\Theta_r = \frac{3}{2} \frac{1-2\mu}{E} [c p_0 (1-l^{-\xi X})]^2 \quad (4)$$

式中 μ —泊松比；

E —煤的弹性模数。

知道了煤层临界应力状态带的各个点的潜能蓄积量，就能算出潜能以弹性恢复形式释放的速度，这种释放是巷道推进和岩柱重量造成煤层附加承压或卸压的结果。图3说明潜能释放的机理。当巷道推进 dl 时，煤层的应力和以应力为转移的潜能蓄积量变化 $d\Theta$ 。在两种情况下潜能蓄积量的差值耗费于位移功、破坏功（第一类）及热和波的形式能量逸散。小的 dl/dt 值相当于工作面普通

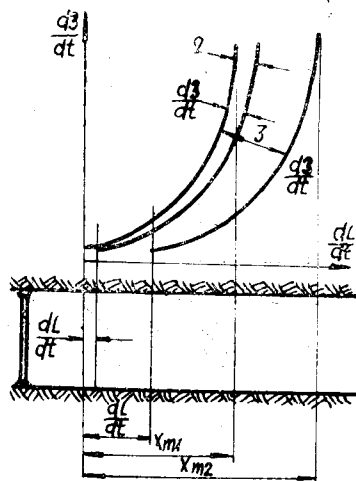


图3 在工作面推进时的弹性潜能释放曲线：

1—煤层；2—在工作面普通推进速度时释放的能量；3—在工作面推进速度很快（例如放炮）时释放的能量； x_{m1} 、 x_{m2} —煤层释放潜能的区域

的（小的）推进速度，而大的 dl/dt 值相当于放炮时的瞬间推进速度，此时（包括震动放炮在内）潜能的释放数量和速度大大增加，这便是诱导的煤和瓦斯突出的原因。

当巷道从较硬煤带进入较软煤带时，在个别情况下当巷道进入地质破坏的揉皱煤带时（图4），也可用类似的方式确定潜能的释放速度。在工作面从硬煤带1进入软煤带2时，弹性潜能分布曲线由位置3转移到位置4，伴随着潜能的释放，其值相当于在长度为 x_0 的区域内两个应力图的差值。当岩层突然下沉和发生其他形式的动荷载时，工作面附近煤层地带耗费于破坏煤的能量得到一些补充。在图5中介绍一个例子。局部卸压的煤层1（其中的应力分布以曲线4表示）随着直接顶2和老顶3的变形而重新承载。划细线的区域表示补充传递给煤层的能量，它耗费于第一类破坏（如果煤层保持连续性）或第二类破坏（在突出初期可能发生）。

如果煤层突然卸压（例如悬臂梁断裂），也释放一定数量的潜能。但是在顺利挤出条件下（围岩没有合拢），这个能量在离工作面一定距离处（靠近应力集中带）释放出来，

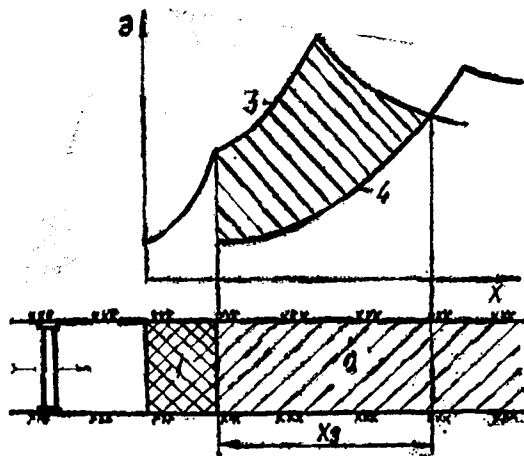


图4 在强度变化的煤层掘进巷道时潜能释放曲线:

1、2—分别为硬煤和软煤; 3—掘进开始时工作面附近地带的潜能分布曲线; 4—从硬煤转移到软煤后的潜能分布曲线

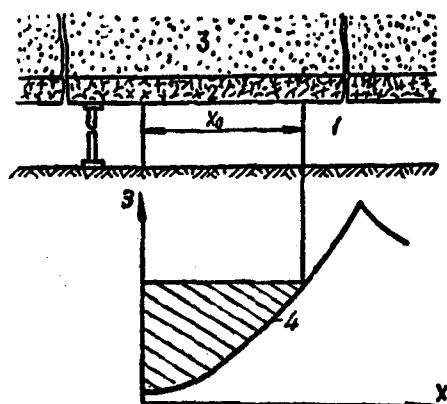


图5 煤层突然受到围岩压力时的能量释放曲线

因此从动力现象的观点看,这是没有危险的。在围岩以 θ 角合拢时,煤层受挤,煤层的应力和弹性潜能增加(图6)。突然卸压时,在长度为 x_p 的煤层区域1的弹性潜能力图从位置4转移到位置5,能量释放的数量和速度对煤的第二类破坏是足够的。在揭开煤层时,潜能的释放可能达到很大的数量,因此突出强度很大。由于围岩强度通常超过煤层强度一个数量级,石门工作面1(图7)附近的应力图形符合岩体的弹性状态(曲线3)。在煤层揭开的瞬间,图形3力图转变为图形4,并且释

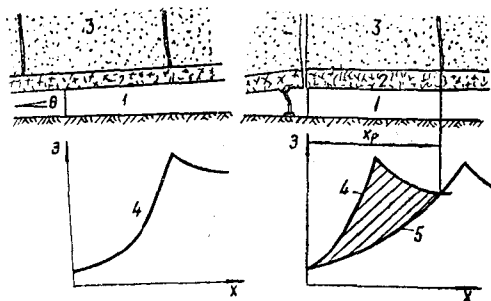


图6 煤层突然卸压时的潜能释放曲线:

1—煤层; 2—直接顶; 3—老顶; 4—由于顶底板以 θ 角靠拢而受挤压的煤层的潜能分布曲线; 5—突然卸压后煤层的潜能分布曲线(划细线的区域是卸压时释放的能量)

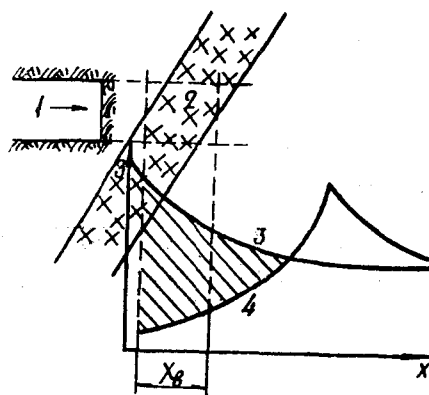


图7 石门揭煤时煤层潜能的释放:

1—揭煤石门; 2—煤层; 3—揭开前在围岩和煤层中的潜能分布曲线; 4—揭开后达到平衡时煤层中的潜能分布曲线; x_B —潜能蓄积量差值大的区域

放的能量能发展为在揭开地点破坏煤层2的巨大的功。

急倾斜煤层的煤突然倾出或冒落激发的动力现象(图8)是大量潜能释放的特殊情况。当煤层从工作面冒落的深度为 x_0 时,应力或能量蓄积量的图形由位置2转移到位置4。煤层在平面5的附近暴露,也即在高应力和高瓦斯压力区暴露,由于图形2和图形4所表示的应力差值,同时释放出大量的潜能。

在上面所列举的所有情况下,释放的能量均转变为第一类和第二类破坏的功以及其他形式的能量—动能、地震能、热能。在和

煤体保持力的联系的煤层中, 大部分潜能转变为破坏功。可以认为, 在理想的条件下, 每一种类型的煤都能破碎到尺寸不小于 $r_{\min}$ 的颗粒, 而为此要耗费最大的单位破碎功 U_y 。为了破碎到更大尺寸 r 的粒度, 要求较小的功:

$$U = U_y \left(1 - \frac{r - r_{\min}}{r} \right) \quad (5)$$

煤的应力状态对破坏功有很大影响。功和最大主应力之间的关系可写成下列形式:

$$U = U_y (1 + n \sigma_1) \quad (6)$$

式中 n —由试验确定的比例系数。

由于第一类破坏发生在长度为 x_m 的整个临界状态带, 在煤层断面积为 S 的带中 (此处 $S = zm$, z —巷道宽度), 根据公式 (1)、(5)、(6), 煤因潜能释放而破坏的速度可表述如下:

$$dU/dt = 2Rr'/r_n^3 \quad (7)$$

式中 $R = 3U_y x_m S r_{\min}$

$$\cdot \left[1 + \frac{n}{x_m \varphi} (l^{\varphi x} - 1) \left(K_V - \frac{\lambda c p_0 \xi}{\varphi + \xi} \right) \right],$$

$r' = dr_n/dt$ —在煤层没有全面的不均匀压缩时单位体积内的破坏传播速度 (例如裂缝分枝速度);

r_n —球形或立方煤块或煤粒的换算尺寸;

$$r_n = \frac{Q}{\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \dots + \frac{Q_m}{r_m}}; \quad (8)$$

Q —破坏的煤的重量;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_m$ —各个块度的重量;

$r_1, r_2, \dots, r_m$ —各个块度煤粒的平均尺寸。

在能量流速不大时, 由于有越来越大的煤层地带加入过程和临界应力状态范围扩大, 第一类破坏究竟可能延续多久, 是不确定的。当能量流速超过第一类破坏的传播速度时, 也就是说煤层不能把所有的潜能用于扩大临界状态范围时, 便从煤层的露暴面一侧开始第二类破坏, 煤被抛出工作面。这种

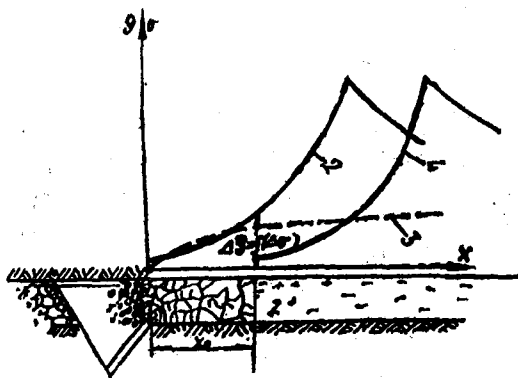


图8 急倾斜煤层因煤冒落或突然倾出而引起煤和瓦斯突出的危险:

1—煤层; 2—煤层冒落前的应力和潜能分布曲线; 3—冒落前煤层瓦斯压力分布曲线; 4—冒落后没有突出时应力和潜能分布曲线; 5—在应力和瓦斯压力高度集中以及应力差 $\Delta \sigma$ 和潜能蓄积量差 $\Delta \Phi$ 大的区域内煤层的暴露

破坏如果牵涉到足够大的煤层地带并使它 在高应力和高瓦斯压力带暴露的话, 就可能成为煤和瓦斯突出的初期阶段。这种由煤层外部的力引起的破坏, 是突出的必要条件, 但不是充分条件, 随着能源的迅速消耗 (巷道停工, 加载结束), 第二类破坏终止, 煤层达到新的平衡状态。

如果新暴露的煤层分层中能量蓄积量大到足以引起煤层自发破坏, 便能发展突出。在这种情况下, 第二类破坏开始向煤体深处发展, 因而每一个接着而来的分层都比前一个分层处于更高的应力状态, 并具有更多的潜能蓄积量。外部破坏应当表现为工作面自发地向煤体深入的形式, 由于裂缝和削弱面相当规整, 这种深入又表现为煤层成层剥落。这就是动力现象发展的第二阶段, 它对于发生煤和瓦斯突出是必要的, 但同样不是充分的。

如果破坏了的煤就落在工作面附近, 那么, 由于巷道空间有限, 在短时间内工作面将会自行堵塞, 从而阻止煤的继续抛出和突出的发展。要使突出发展, 必须不断地从工

作面抛出煤。这个任务由煤中泄出的瓦斯承担。像强烈突出时那种把煤抛出数十米甚至数百米远的情况，只有形成悬浮于瓦斯中的煤流才有可能，而要形成瓦斯煤流，煤的瓦斯含量（包括吸附瓦斯在内）应该大，瓦斯泄出速度应该高，这只有在煤迅速破坏和强烈粉碎的条件下才有可能，因为只有这样，新形成的表面才会以很大的速度泄出游离的和吸附的瓦斯。这就是煤和瓦斯突出自然发展所必需的最后一个充分的条件。

在一次近似值中可以认为，当煤破碎到尺寸 $r_{\min}$ 时，形成的表面几乎放出全部（超过90%）的瓦斯，因此，足以把煤带进巷道的瓦斯流可按式计算：

$$v_B S = \frac{MAr_{\min}}{3V} \frac{3V_1 n}{r_n}, \quad (9)$$

式中 v_B —保证携带尺寸 r_n 的煤块的瓦斯运动速度；

S —巷道断面积；

M —煤破碎时新煤面暴露开始一瞬间可能泄出的煤中瓦斯总含量的一部分；

A —在压力为 P 时煤的瓦斯含量；

V —瓦斯含量 A 的煤体积；

V_1 —煤分层的体积；

n —在单位时间内被破坏的煤分层数。

突出自然发展所必需的，破坏波向煤体深部传播的速度为：

$$nx_c = \frac{v_B V}{MA} \frac{r_n}{r_{\min}} \frac{zm}{z_1 m_1}, \quad (10)$$

式中 x_c —分层厚度；

z_1, m_1 —剥落的分层的宽度和厚度（高度）。

除了煤层埋藏深度、瓦斯压力和瓦斯含量、强度低和结构不均等这些完全明显的条件外，煤和瓦斯突出的激发和发展条件还有：

(1) 外部因素（工作面推进速度、炸药影响、承压、卸压）作用于煤层，使岩石或煤层本身的潜能转变为破坏功的速度大于

临界状态（第一类破坏）的发展速度，因而表现为工作面附近煤层地带的第二类破坏。

(2) 煤层在高应力、高瓦斯压力和高潜能蓄积量地带暴露，以保证分层中能量的集中足以破坏该分层和暴露下一个分层，并激起自发破坏向煤体深处发展。

(3) 第二类破坏的发展速度和破碎程度足以不断形成瓦斯放散表面和保证能使煤悬浮的瓦斯流。

称之为煤和瓦斯突出的各种动力现象的机理，大概就是这样。这一复杂现象的各个阶段可用各种数学模型描述。重要的是，根据这些模型的计算结果，能够说明岩石和煤层的潜能以适应于动力现象强度的速度转变为煤层破坏功的条件。

结论。《煤和瓦斯突出》这一术语，不是表明一种，而是表明几种复杂的瓦斯动力现象，每一种瓦斯动力现象要求采用不同的预测和预防方法。防止煤和瓦斯突出的现有方法应该考虑到这些现象的差异。

预测突出，除了鉴定煤层性质及其应力状态，还应包括下列资料：围岩组成，在开采层周围 250 米距离内是否存在老巷和采空区，直接顶和老顶的移动和冒落速度，预计的承压带和卸压带。

在巷道工作面前方煤层中不断发生的第一类破坏在许多情况下决定着转变为危险的第二类破坏的可能性，这种破坏遍及煤层的整个临界状态带。防止一定种类的瓦斯动力现象（例如由于巷道突然加载、采用炸药、进入地质破碎带等原因而发生的突出）的措施，也应该包括整个临界状态带，而不仅仅是 2 米（像卸压槽所规定的那样）。

无论游离瓦斯，还是吸附瓦斯，都参与突出的发展，因此，作为预防措施的瓦斯抽放，应该进行到使瓦斯压力降到尽可能低（3—5 大气压）的程度。

目前和不久的将来在均质煤层中所能达到的无爆破掘进速度，就其本身而言（也就是说在围岩没有靠拢、没有突然的承压和卸

煤 和 瓦 斯 突 出

J. Sorbie

采矿最初遇到煤和瓦斯突出是1835年，在Wallsend矿，当时该矿采掘工程正接近一个断层。该处的煤已变成“风化煤”，即一种很软的无结构类型的煤，它无节理并且由于地层运动呈破碎状，后来在高压下又凝固在一起。

在比利时的突出事故记载中详细介绍了许多突出事故的情况及其后果。比如1879年4月17日发生在比利时L/Agrappe矿二号井的一次突出记载中介绍，突出煤量397.6米³（原文为3.97.6），放出瓦斯估计为3.4×10⁵米³（原文为3.4×10.5）。瓦斯沿井筒往上升，遇明火被点燃，结果引起火灾和爆炸，摧毁了井口出车场建筑物（包括提升机），造成121人死亡和11人严重烧伤。

在这种严重恶果的影响下，人们越来越认识到必须找出一种预测突出的方法。一些文献详细介绍了法国矿山所用的一种方法，即测定超前工作面钻孔孔口的压力值。如果压力值高于正常值，停止采掘，并向危险区域打卸压孔，每隔一定时间测压。等压力下降到正常范围，再开始采掘。

自从出现突出事故以来，由于制定了有关的法律和规程，已大大改进了矿山安全情况，几乎消除了这类重大事故。但是突出的

危险性目前仍然存在，所以许多国家（包括英国在内）都在从事突出起因的研究。

影响突出发生的因素

当前，对煤和瓦斯突出起因的研究产生了一些理论。突出的主要起因可分为两大类：即

1. 由瓦斯聚积引起；
2. 由岩压引起。

瓦斯起因论认为，当煤层的暴露部分卸压时，煤层中游离瓦斯的压力将煤推向工作面，结果引起突出。

岩压起因论则把突出的发生归结于复盖岩层的重量，因而归结于由这一重量引起的煤层及其顶板的应力状态。

当煤柱变小到不能支持作用应力时，岩压便将煤层中的煤与瓦斯推向工作面，结果由于构造压力的影响，煤层及其围岩受到予应力的作用。这些应力沿层面作用于薄弱点（如断层或火成侵入点）。

影响突出的其它因素还有：

- ①煤层结构；②煤层性质（一般为低挥发煤）；③煤层的倾角；④煤层厚度（通常为厚煤层）。

压、没有进入地质破碎带等情况下）不存在引起突出的危险。但是，在围岩大大靠拢（ $\theta = 5^\circ$ 以上）的情况下，煤层突然卸压（例如，悬臂梁垮落）可能激发突出。急倾斜煤层倾斜巷道和平巷上方悬煤地点的卸压（包括非突然卸压），使突然倾出危险增大，也可能激发突出。

为了有效地防止瓦斯动力现象，在开采突出危险煤层的矿井中工作的工程技术人员应当更广泛地了解煤和瓦斯突出问题的理论研究成果。

于不凡译自《Уголь Украины》，

1979, №4, 26—30, 王湘校

预测和防止突出的方法

处理易于发生煤和瓦斯突出的煤层的主要预测和防止方法有三种。

方法1

这种方法是往煤体打超前钻孔，将高压瓦斯排入矿井工作面。钻孔一般直径为37~42毫米。经常发生突出的煤层应采用250~300毫米直径的钻孔，以扩大往工作面排放瓦斯的面积。钻孔长10~20米，成一适当角度，钻孔组与钻孔组之间保留5米的排放重叠区。

苏联顿巴斯煤田一些经常突出的煤层采用了这一方法，并收到了降低事故次数的效果。

许多其他国家都采用了由这一基本方法变来的防止突出的方法。

方法2

这种方法是开采近距离解放层，使突出危险煤层排放瓦斯和卸除压力。实践证明，开采解放层（无论是上或下解放层）能取得

理想效果。这种方法仅在开采那些非常危险的煤层时采用。

方法3

诱导放炮（也称震动爆破），在有迹象表明突出即将发生时采用。法国、西德、苏联和英国使用诱导放炮消除可能即将发生突出的区域的地压。

具体方法是在危险区的工作面打一组炮眼，装入多量炸药，采取安全措施后起爆。诱导放炮的原理是给岩层一个短的硬冲击波，从而使突出发生在一个可控范围内。

必须强调的是，当采用这一方法时，必须遵守最严格的安全标准，以确保矿井人员和矿井本身的安全。

基洛赫（Killoch）矿井的突出事故

基洛赫矿井是英国煤炭局苏格兰区的一个现代化矿井，座落在肯姆洛克城与艾尔城之间。该矿现正开采三个煤层：

主煤层自1960年开始开采以来已大面积回采，另外两层即“Ell”层和“Ayr Hard”层，是最近才开采的。大部分煤炭产量都采自主

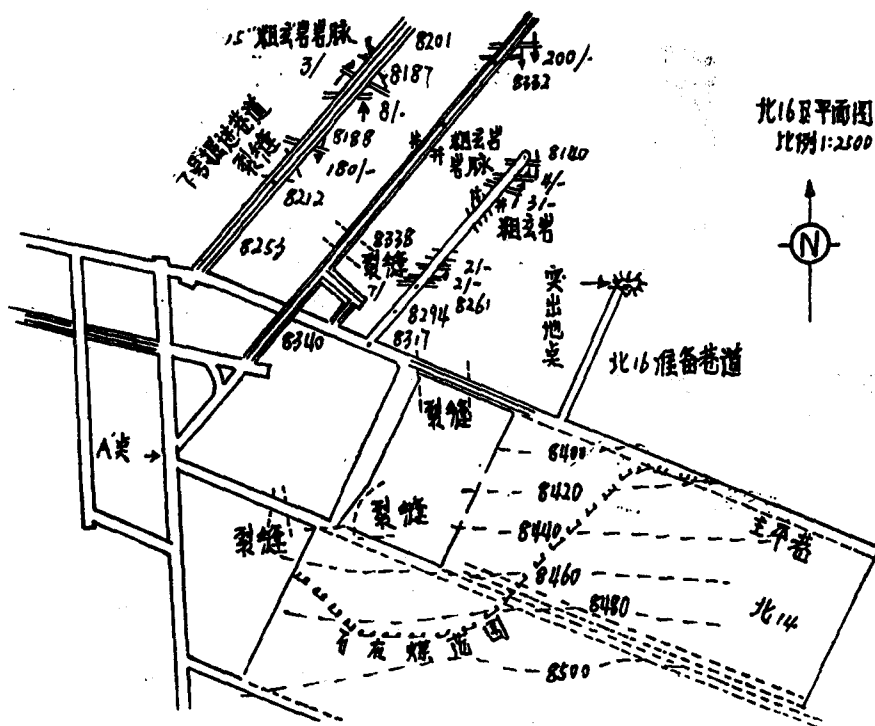


示意图1

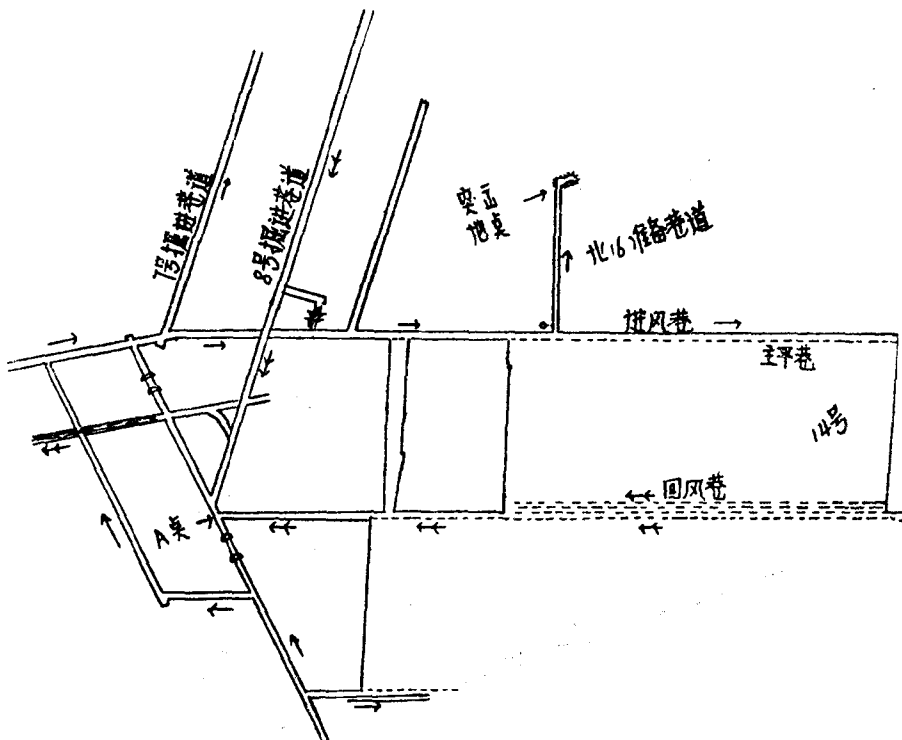


示意图1A

煤层。

在这段期间遇到三次煤和瓦斯突出。第一次发生在7号东准备巷道；第二次发生在3号西北掘进工作面；这两次均为小型突出。最近的一次突出即第三次，是一次大强度突出，发生在16号北准备巷道。三个突出地点在矿井中很分散。

三次突出都发生在主煤层，并且都非常靠近粗玄岩岩脉。这种粗玄岩岩脉很普遍，在开采主煤层中常常遇到。但在通过大部分粗玄岩岩脉时并没有发生突出事故。因此结论是，发生突出的地方都位于存在瓦斯和预应力岩层的局部高压带，采掘工作进入该高压带，便将煤和瓦斯突出推至工作面。

16号北准备巷道的突出事故

1976年2月5日在16号北准备巷道发生煤和瓦斯突出事故（见示意图1）。迅速查明突出事故后，即采取保证该区工作人员安全的措施。

事故消息传到皇家监查官、英国煤炭局苏格兰区管理局和有关工会后，立即成立了

事故办公室，以处理善后和详细记录突出资料。

事故现场的详细情况（见示意图2和3）

16号北准备巷道是一条煤巷，是从北14主平巷倾斜掘进的。用一般的打眼放炮方法回采煤炭。放炮用P5炸药和毫秒雷管。采用24个炮眼的炮眼组，装药量为40磅，因为在煤层上部有48厘米的硬石灰煤。一次爆破推进1.83米。在主煤层开采区有好几处遇到石灰煤，其范围见示意图1。煤层被烧过的部分变为无用矸石，烧的深度各地方不一样。

煤层厚1.98米，工作面一般宽3米，掘进坡度在最后45.7米的煤巷中由1:6增加到1:3（见示意图3）。工作面的煤炭用一台扒矿机和耙斗直接装到79.3米长的工作面铠装运输机上，转运到主平巷运输机上。



示意图2

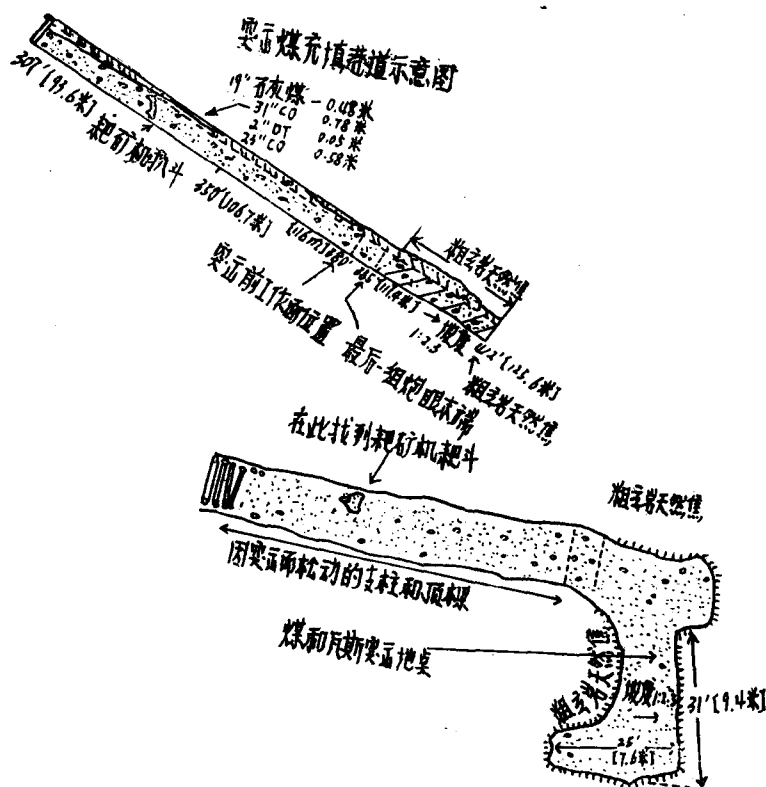


示意图3

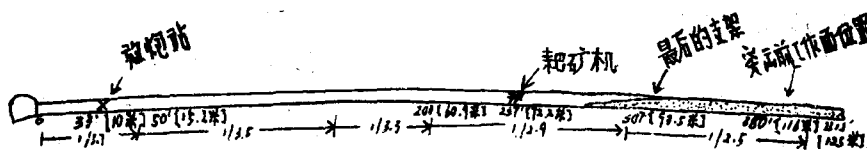


示意图 4

掘进工作面用木顶梁和木支柱支护，间距为0.91米。在耙斗后边直到掘进巷道顶部设一排中心柱。这样布置是为了便于耙斗在装煤时可以通过。工作面通风采用一台压入式辅扇，即25马力的B40型Edgar Allen Aerex扇风机，供风量为162米³/分，通过风筒送到掘进工作面。在生产过程中进行空气取样分析的结果，没有发现异常情况。（见示意图1A）

在发生事故的那天早晨,16号北准备巷道的放炮工为修整掘进工作面进行了装药放炮。放完这些炮后,又打了一组炮眼(24个),装40磅P5炸药,用毫秒雷管引爆,雷管顺序是2个零号管,3个1号管,5个2号管和9个4

号管。在此期间从未发生任何异常情况，在工作面打眼中也没有发现任何岩层变化。该工作面的矿工都是些有经验的掘进工。工长和放炮工的法定检查也没有查出任何异常情况。放炮工用瓦斯检定器测定，也没有测出掘进工作面瓦斯浓度有任何异常的增加。

安排好警戒后,大约在9点50分起爆,听到炮声一响,放炮工就从放炮器上卸下放炮线,随着便听到“呼啸”一声,好像风筒撕裂一样。他俯视巷道,没有看见什么异常现象,但这时他的头开始晕眩,然后就什么也不知道了,一直到他在14号主石门中清醒过来。主平巷工作面的一个工长在16号准备巷道连接点15米以外的地方听到隆隆声,接着被浓

密的黑色尘云包围，他甚至看不见同行人的头灯。他跑过连接点，在交叉点处也看到16号放炮工摔倒在皮带运输机上，不一会长工自己也失去了知觉。这时瓦斯进入14号工作面，威胁到这个采区的所有工作人员。14号北部区域的电源全被切断，矿工撤到新鲜的风流处，10点10分完成撤人工作。

突出发生后，迅速在16号掘进工作面与地面控制台之间建立了电话通讯系统，保持不断的联系。井下电话站设在14号主平巷中离16号准备巷道不远的地方。经测定12号主平巷和东勘探巷道连接处主风流中的瓦斯浓度如下：（注在示意图1上）

10点钟……5%；
10点10分……4%；
10点20分……2%；
10点30分……2%
10点40分……2.2%
10点50分……1.8%
11点10分……1.2%
11点20分……1.2%

在此期间14号辅助平巷中的自动瓦斯检定器也被激化。安装了取样系统。11点25分在16号准备巷道通往14号主平巷入口那边30.5米处，主风流中 CH_4 含量下降到2%，而且继续下降，到突出后的第二天10点，16号北准备巷道入口处的沼气含量已下降到0.44%。

突出的原因在于准备巷道接近应力区。当起爆炮眼时，承受压力的煤柱被削弱，以致瓦斯和煤喷入工作区，压力卸除。

突出后进入16号北准备巷道的情况

经过仔细考虑以后，决定连续开动16号准备巷道用的局扇，以吹散掘进面的瓦斯，把它吹入装有瓦斯监视器的14号主平巷。13点55分所取读数表明入口风流中瓦斯含量为4.8%，在离16号准备巷道30米的14号主平巷的风流中为1.3%。在下列地点取样：

- (1) 16号准备巷道的入口；
- (2) 离16号准备巷道4.5米的14号主平巷；

- (3) 12号北主平巷外侧端。

取样的间隔时间为两小时。

当瓦斯浓度下降到允许人员进入的时候，便铺设风筒有组织地排放16号北准备巷道的瓦斯。风筒铺到93.2米处，发现最后一个支架完整无损（其它的全被吹跑了），从这儿起巷道堆满了小煤块，煤堆表面23厘米以下是灼热的。清理中没有发现巷道里有瓦斯喷口。突出后的第二天上午8点45分，检测16号北准备巷道的风流得如下数值：

采用德莱格（Drager）一氧化碳检知管测定，发现整个掘进巷道内没有一氧化碳。

准备巷道向下4.5米处，主风流中 CH_4 为1.4%。

准备巷道向下18.3米处，主风流中 CH_4 为2.0%。

准备巷道36.6米处，主风流中 CH_4 为5.0%。

救护人员在此开会研究决定：

(1) 开始清理16号北准备巷道中的突出物，按3米距离为一段逐步清理松散堆积的煤炭，清理完的地段撒上一厚层岩粉，根据需要可安设工作面铠装运输机。

(2) 在安设的铠装运输机尾端进一步设置取样点。

(3) 改进辅助通风系统，将风量提高到 $4.6\text{米}^3/\text{秒}$

(4) 在进行上述工作时，北14号主平巷不得恢复供电。

由于恢复了通往最后一架完整支架的通风，清理工作的道路就打开了。

清理

允许在准备巷道中工作的最多人数为9人，进入巷道的人配带标记，在入口处设专人检查。

由于清理的煤是些粉尘，巷道中的电气设备要减少到最低限度，为此，决定用手工将已湿润的煤装入铠装运输机。运输机的传动头在14号主平巷的新鲜风流中。

清理工作需要一台水泵，以便处理流入

巷道中的水。水泵接入独立电源，仅在需要泵水时接通电源。在清理工作中特别注意推进速度，以使煤堆中放出的瓦斯保持在允许的浓度极限以内。用瓦斯检定器和火焰安全灯进行监视。由有关人员记录读数，并每小时采样分析一次，作为补充。为保证在每清理出3米(101)巷道后能撒上厚厚的一层岩粉，采用了系统撒岩粉的方法。16号准备巷道的供风达到并保持了高标准，只要需要，即刻铺设风筒，在清理巷道过程中仔细地检测了空气温度和湿度以及煤堆的温度。举例如下：

空气温度——湿球19℃，干球20℃；
采掘工作面瓦斯浓度——5%；
总风流中瓦斯浓度——0.4%。

在巷道里侧 104.8 米的地方发现煤温突然升高到72℃，为查明原因，专门取了气样分析。其结果如下：

CO₂ CO H₂ CH₄ O₂ N₂
0.06 0.0001 无 0.29 20.75 78.90

用德莱格检知管测定不出一氧化碳时，才继续工作。应该指出的是，取气样时间是1976年2月11日1点，完成分析并报告给矿上事故办公室的时间是当天2点，这说明工作效率是很高的。在清理过程中煤的温度变化很大，这可从下面的数字看出来：

- (1) 准备巷道左侧0.27米处，煤堆温度达46°；
- (2) 准备巷道左侧2.44米处，深入煤堆0.45米处温度达49°；
- (3) 准备巷道中央2.44米处，深入煤堆0.45米，温度达58°；
- (4) 准备巷道中央2.44米处，深入煤堆

0.6米，温度达69°；

- (5) 掘进巷道右侧2.44米处，深入煤堆0.76米，温度达60°。

准备巷道左侧的温度较低是因为水的影响，离巷道入口约24.4米的底板出水。

在煤堆深部0.45米和0.6米的地方也取了气样分析，结果如下：

	0.45米 (%)	0.6米 (%)
CO ₂	0.22	0.24
CO	0.25	0.25
O ₂	3.70	4.70
N	92.65	93.29
CH ₄	3.40	1.74

作为在这一温度下的松散煤中的不燃气体，一氧化碳浓度为2500ppm，是正常的。

矿井提出的煤样分析结果详见附表。

从上述分析中，特别是从DAF挥发物和高CO含量可知所取煤样是典型的石灰煤。

在头48小时内总共突出矸石200×10公斤，喷出瓦斯7075米³。[7×10³n³]

喷煤区的特有形状是一个值得注意的特征(见示意图3)，这种“靴”形喷煤区是突出中常见的。靴“底”几乎与粗玄岩岩脉平行。

恢复掘进工作是在高度安全和慢速的条件下进行的，为此每24小时只能有一个队的工人参加工作。当掘进到已知的粗玄岩时要立即采取预防措施。工长要参加掘进工作，打炮眼时工长和放炮工都应在场，检查瓦斯时应特别注意。

从实用规程中可以看到，放炮前钻孔超前工作面的长度应为3.65米。每爆破一组炮眼，工作面推进1.8米。因此，放炮后在掘

项 目	从横梁到24.4米处的细煤粉	离顶板3米的顶部煤	离顶板3~6米的煤	煤 堆
挥发混合物	12.7 (12.7 DAF)	7.7	10.8	8.4
水 份	9.0	17.7 (14.0 DAF)	13.1 (12.5 DAF)	18.3 (16.3 DAF)
固 定 碳	65.4	54.3	60.0	55.8
灰 份	12.9	20.3	16.1	17.5
一氧化碳	3.25	8.88	4.75	7.4

进工作面留下 1.8 米的超前钻孔距离。工长和放炮工观察打眼时的钻粉，如果发现软煤，应取粉样送上级管理部门检验。

所用钻机是旋转式的，它是掘进工作面在打炮眼中使用的唯一电动设备，其开关箱放在外面 14 号主平巷。

负责掘进工作的官员尽可能不要更换，若非换不可，应向新的工长和放炮工详细介绍情况。

放炮工布置警戒是值得仔细考虑的一个因素，因为根据规程要求，布置好所有警戒后，每个人必须停在掘进巷道进风侧，同时向地面控制站报告警戒的位置。

需要再强调的是放炮前瞬间要严格执行放炮规程，特别是关于堵炮泥和撒岩粉的规定。

当 16 号北准备巷道推进到地质变化可疑地区时，在掘进前制订了必须严格遵守的实用规程。

掘进 16 号北准备巷道的 实用规程

1. 在打眼放炮前，必须在掘进工作面打一组超前钻孔（一个直孔和两个 45° 的斜孔），超前距离为工作面一次推进距离的两倍。

2. 如果任一超前钻孔表明煤质由硬变软，或钻孔的瓦斯涌出过多，应停止打钻孔，并立即将这一情况用电话告知矿井控制站的官员。

3. 在打超前钻孔和炮眼时，掘进工长和放炮工必须在场。

4. 放炮时 16 号掘进巷道的回风侧不准有人。工长要检查回风一侧的 14 号工作面及其巷道。工长应站在 12 号连接点的进风道上，并用电话通知放炮工放炮。

5. 仔细检查瓦斯后，放炮工进行 16 号巷道的炮眼装药。放炮工应在 16 号巷道进风一侧起爆。

6. 放炮前放炮工要用电话报告矿井控制

站：放炮即将开始，所有人员已撤到安全地点。

7. 放炮后一切正常时，放炮工在 10 分钟后用电话汇报，再过十分钟后，检查工作面。得到“解除警戒”的信息后，在 12 号连接点的工长才能允许矿工回到 14 号工作面。

8. 发生任何不正常事故时，如放炮后瓦斯突然涌出，应立即用电话报告矿井控制站和在 12 号连接点的工长。

9. B. M. I. 型瓦斯记录器应随同探头一起放在 16 号掘进巷道里，在放炮中和放炮后都要仔细观察仪器的变化。

10. 放炮时现场应配备一名电工。

本实用规程后来被发给一切有关人员，16 号巷道的掘进工程又继续进行。

巷道掘进 9.15 米时，遇到火成岩侵入。通过测绘在 7 号和 8 号掘进巷道遇到的玄岩岩脉，估计很可能 16 号掘进巷道中的火成岩侵入是同一岩脉的延伸。

因此，后来十分注意预测现在或将来可能主煤层发生的煤和瓦斯突出。煤炭局官员、皇家监察官和各有关工会开会共同制订了用于基洛赫矿井开采主煤层各采区的预防规程，内容如下。

防止突出的预防规程

本规程适用于主煤层开采。

1. 在所有的煤层掘进巷道中，钻孔超前工作面的距离至少为 4.57 米（原文为 4:57）或为工作面一次推进距的两倍，在两者中选用较大的一个。

2. 如果煤巷进入 36.6 米的粗玄岩内（突出粗玄岩，或粗玄岩天然焦），要以适当角度打足够数量的侧翼孔，孔深不得小于 4.5 米。

3. 如果操作人员测定出或观察到下列异常现象：炮眼钻入粗玄岩、天然焦、异常软煤、异常瓦斯涌出或煤层变薄，应立即报告他的顶头上司。