

煤、岩石和瓦斯突出

国外资料汇编

(第二集)

科学技术文献出版社重庆分社

一九七九年十一月

煤、岩石和瓦斯突出
国外资料汇编
(第二集)

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94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: 12.75 字数32万
1979年11月 第1版 1979年11月 第1次印刷
印数: 3300

书号: 15176·446

定价: 1.35元

编 者 的 话

《国外煤和瓦斯突出(资料汇编)》从第二集起改名为《煤、岩石和瓦斯突出(国外资料汇编)》。为了满足国内急需,本集报导内容以岩石和瓦斯突出为主,从俄、日、英、德、波等五种文字的文献中选译了52篇我们认为比较有价值的文章,包括综述、机理、预测和预报,有煤矿的,也有金属矿的,绝大部分发表于七十年代,基本上反映了关于煤、岩石和瓦斯突出研究的国外现代水平。

重庆煤炭科学研究所、抚顺煤炭科学研究所和重庆大学采矿系矿山工程物理研究所等单位在选题、译校、编排方面给予大力协助,在此表示衷心感谢!

本《汇编》已出两集,由于人力和水平有限,译文中的错误和不妥之处是难以避免的,欢迎广大读者多提宝贵意见(来函请寄重庆2104信箱二室矿业组)。

一九七九年 月

目 录

综 述

防止煤、岩石和瓦斯突出的理论基础.....	(1)
岩石突出和瓦斯突出的预测和预防.....	(7)
岩石和瓦斯突出, 突出危险岩石中的巷道掘进.....	(19)
国外岩石突出实例.....	(25)
对易发生岩石突出的砂岩顶板工作面和巷道的研究.....	(31)
关于预防瓦斯和岩石突出及降低突出强度的研究工作.....	(42)
深部矿井岩石和瓦斯突出危险性的预测和防止方法.....	(49)
关于准备巷道煤、岩石和瓦斯突出本质的统一问题和 防止突出措施统一的原则.....	(53)
瓦斯和岩石突出机理的研究现状及其预测基础、原则和方法...	(57)
捷克矿井中的岩石和瓦斯突出.....	(66)

机 理

论矿山巷道中岩石突出的物理力学原理.....	(68)
关于在建矿井巷道中岩石突出的本质.....	(73)
关于岩石突出的基础研究 ——急速撤除封压情况下的岩石破坏动态——	(79)
在煤矿深部水平掘进巷道时岩石突出过程的能量平衡.....	(85)
充填开采工作面中岩石突出现象的分析.....	(88)
岩石力学和深部采掘.....	(96)

爆破在激发岩石和瓦斯突出中的作用.....	(101)
在深部矿井中用打眼放炮方法掘进巷道时岩石突出的原因.....	(105)
放炮对岩石突出强度的影响.....	(108)
关于动应力对岩石突出发展的影响问题.....	(110)
岩石突出发动机理的井下研究.....	(112)
在岩石和瓦斯突出时岩石抛进巷道的机理.....	(114)

预 测

利用非弹性曲线预测砂岩突出.....	(16)
顿巴斯煤矿砂岩突出危险性的预测问题.....	(119)
有关深部开采的一些问题	
——岩石噪音与岩石突出的关系——	(123)
别子矿山地层声响现象的观测.....	(128)
岩石突出及其早期警报系统的探索.....	(135)
赫克拉公司岩石突出监测系统.....	(142)
岩石突出的危险程度.....	(149)
在建设《克拉斯诺阿尔麦斯克-卡皮塔利》矿井时	
岩石突出危险性的预测.....	(152)
确定砂岩突出危险性的光学方法.....	(155)
顿巴斯各种不同成因的砂岩的弹性因岩石突出而	
发生变化的特点.....	(157)
在地质勘探钻进时用电子顺磁共振法鉴定砂岩突出危险性.....	(159)
在地质勘探阶段按岩心分裂成园片预测岩石	
突出危险的可能性.....	(160)
借助计算机预报突出.....	(162)

388730

• 2 •

预 防

在地下开采时防止瓦斯动力现象的新方向.....(163)

掘进岩石平巷时防止砂岩和瓦斯突出的有效方法

 煤层超前开采.....(166)

 开采下解放层对砂岩突出危险性的影响的确定.....(169)

 防止岩石和瓦斯突出的有效方法.....(171)

 用开卸压槽的方法在突出危险岩石中掘进巷道.....(174)

 用开槽卸压法在有突出危险的岩石中掘进巷道.....(177)

 在巷道掘进时开轮廓(卸压)槽预防岩石和瓦斯突出.....(180)

 在突出危险岩石中掘进巷道时开卸压槽用的ИМ-1机器.....(181)

 水平卸压槽对岩体突出危险性的影响.....(184)

 用槽卸压时巷道工作面附近岩体应力状态的确定.....(186)

 用机械方法沿突出危险岩石掘进的巷道外围岩体

 保护带深度的确定.....(188)

 以应力释放(或分散)作为瓦斯和岩石突出

 预防措施的试验结果.....(191)

 “星”矿用脉壁卸压法控制岩石突出.....(194)

 在坚硬的突出危险岩石中用半球形工作机构的

 «Ясиноватец-2»型掘进机掘进巷道的工业试验.....(195)

 在用爆破法掘进巷道时降低岩石突出频率和强度的方法.....(198)

 突出危险岩石中的打眼放炮工作.....(201)

 在深部矿井沿突出危险岩石掘进巷道时单位炸药

 消耗量的确定.....(203)

防止煤、岩石和瓦斯突出的理论基础

И. М. Петухов, А. М. Линьков

目前已出现一种趋势：把阐明矿井动力现象发生原因的各种观点统一。这种统一的根据是：物质、冲量和能量不灭定律的通用性，破坏向材料深部发展时，应当符合这些定律〔1、2〕。预先讨论高级动力现象——煤、岩石和瓦斯突出的共同特点，是建立上述理论的一个重要步骤。本文从实用观点进行一些探讨，并在描述突出的准备和发展两个阶段的基础上阐明理论原则。

突出的第一阶段（准备阶段） 工作面附近煤层（图1）始终处于地压作用下，地压造成突出危险条件：增加向巷道方向渗透的困难，促使保持高的瓦斯压力，并使故障增多，导致材料强度降低，和在突出的以后阶段即破碎波传播阶段煤粒易于分离。

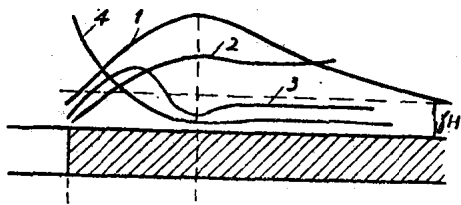


图1 煤层边缘部分状态示意图：

1—煤层边缘部分的支承压力，2—瓦斯压力，3—瓦斯涌出速度，4—煤层透气性

应该指出，伴随不可逆变形的故障的增多，其本身促使透气性增加〔3〕。因此在支承压力带，在地压作用下，渗透性质的变化有两个相反的倾向：材料压缩减少渗透性，而由此引起的故障增多又增加渗透性。在离

开工作面一定距离处，起决定作用的是第一种倾向，因而渗透困难。与深处的临界应力带相比，在直接靠近暴露面处，变形和移动较大，而压缩较小，因此具有透气性增加的倾向。工作面附近地带复杂的、突变式的变形特征，造成了这些倾向相互作用的非常不定的后果，并在很大程度上决定了煤和瓦斯突出的不定性。下述情况很重要：在其它条件相同时，高的支承压力促使平衡状态的稳定性丧失，并激发（发动）突出。

在突出危险带，表面的急剧暴露与力学稳定性系统的丧失有密切关系。这一过程与装有气体过饱和液体的容器抖动时出现的那种热动力学非稳定性没有任何关系。它纯粹是机械原因引起的，不取决于材料的吸附性质，并在下列情况下可能发生：迅速揭开煤层，采煤器具工作（特别是深截式采煤机械工作），进行爆破工作以及钻具钻进危险区。

很危险的是，在煤层变形过程中产生平行于工作面表面的缝隙，因为渗透到缝隙中的瓦斯的压力，能把缝隙和巷道之间的“隔墙”冲破、挤垮或抛出。这以后，暴露面的瓦斯压力急剧降低。煤层结构的非均质性、煤层载荷的不均匀性及高的支承压力，都有利于丧失稳定性。在这时毗邻巷道的材料的部分分离和发出分层分离波的表面的暴露，可能以冲击地压、冒落、塌落、挤出、倾出等形式发生。

表面暴露速度需要多高才足以激发，这主要取决于突出危险材料的性质。较坚硬的岩石比不大坚硬的岩石的速度要高，因为要

分离较坚硬材料的颗粒，必须有更高的瓦斯压力梯度，而在压力缓慢下降时，暴露面上不能产生这样的瓦斯压力梯度。

在煤中打钻时得到的下列资料〔5〕，能清楚地说明暴露速度的作用。在钻进速度小于0.5米/分时，未见到动力现象；在速度为0.8米/分时，出现劈拍声和劈裂声；当钻进速度达到0.9—1.2米/分时，发生小突出；而在速度为1.5—1.8米/分时，发生突出。当然，没有能够超过这个数值。

砂岩突出要求表面很急速地暴露，并且只发生在放炮时〔6〕。在砂岩中掘进巷道时，如不放炮，就不发生突出。

岩盐的突出通常是由机组工作激发（从巷道工作面突出），或由于在离层空洞造成高的瓦斯压力使直接顶板急剧断裂和冒落而激发（从顶板突出）〔7〕。

说到突出危险带中表面急剧暴露的影响，同样可以指出，甚至在最危险的条件下，有经验的工人也能支撑住被破坏的材料和控制瓦斯的渗透，能够做到掘进煤巷不发生突出〔8、9〕。其作用实质在于：在低强度、低渗透性和高瓦斯压力区段排除表面的急剧暴露。安装各种掩护支架和隔墙也是为了同一目的，可大大限制突出的发展〔6—9〕。应着重指出，在所有的场合下，在材料破碎和被瓦斯带出之前，在突出危险带中表面急剧暴露。

十分清楚，激发取决于许多偶然因素，说明借助于从沿突出危险煤层掘进的巷道对煤层边缘部分施加机械作用的方法来防止突出是困难的。表面暴露在其实现时，本身就能作为突出的推动力。众所周知，例如，大部分煤的突出发生在执行这种措施的时候。为了安全实行这些措施，必须预先规定能够造成限制破坏过程的足够的反压力和机械的远距离控制。各种楔开式或沉箱式装置能够保证反压力〔7〕。

在有可能利用不增加激发几率的防止突出方法的情况下，应当采用这种方法。开采

解放层是用于此目的的最好形式。

突出的第二阶段（颗粒分离波的传播）

根据突出的下列特征：材料破碎程度高、空洞口子窄、空洞的分叉、激发的特性，显然可以得出结论，在突出时颗粒的分离过程是一层一层实现的。分层分离的实质不难从图2中得到理解。如果在某个时刻，AB面上的瓦斯压力从 P_1 （材料所具有的）降低到 P_2 ，那么分层将承受拉伸力。在与强度相比力足够大时，发生分层的分离。此后出现 A_1B_1 面暴露，重新产生使颗粒脱离的力，过程重复。膨胀的瓦斯把破坏的材料带进巷道。

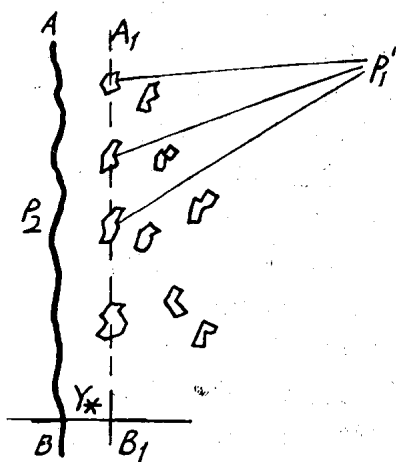


图2 煤（岩）层中分层分离示意图

每个基本的分离动作机理的细节是相当复杂的，而且看来对于不同的材料是不一样的。对它们详细研讨已超出本文的范围，并涉及到考虑下列因素对暴露表面裂缝扩展的影响：内部的瓦斯压力、外部的压缩载荷、裂缝露出时的剪切破坏、裂缝彼此间和孔隙的相互作用。

分析这些情况得到颗粒分离条件的数学公式，下面将讨论其中的一部分。

当分离的条件具备并从急剧暴露面发出分层破坏波时，不难研究波的特点。根据破坏波前的物质、冲量和能量不灭定理，应同时简单地估算波的速度 C 、波前后面瓦斯和颗粒的混合物速度 V_2 和材料松散系数 k_P 〔1〕；

$$c = \frac{V_2}{k_p - 1}, \quad V_2 \approx \sqrt{2 \frac{m}{\chi - 1} \frac{P_1'}{\rho_1}}$$

$$k_p \approx 1 + m \left\{ \left(\frac{P_1'}{\rho_2} \right)^{\frac{1}{\chi}} - 1 \right\} \quad (1)$$

式中 m —有效孔隙率;

χ —包含在材料中的瓦斯绝热指数;

ρ_1 —突出前材料的密度;

$$k_p = \frac{\rho_1}{\rho_2};$$

ρ_2 —在破坏波前后面瓦斯和颗粒混合物的密度。

这些估算与实验资料[10、11]完全符合。按照公式(1),为了波的传播,材料必须很松散。因而,只要限制断裂颗粒可能飞出的范围,就能阻止破坏波前向前推进。就掩护支架的稳定性而言,若能承受 $m_r(P_1' - P_a) - \sigma_p$ 的载荷,无疑是足够的。式中 σ_p —抗断裂强度; m_r —间接表示断面中承受瓦斯压力的那部分面积; P_a —大气压力。数值 m_r 在一般情况下与材料的孔隙率 m 不符合,因为它主要取决于平行于暴露面的裂缝的叉生,以及天然的或人工注入的液体充填渗透容积的程度。上述载荷常常具有大的储备,对冲击空气波的考察得出其下限。掩护支架最好具有可缩性,并具有加固肋或支柱,以防止产生大的弯曲力矩。

表述物质、冲量和能量不灭定理的积分关系式给出分层分离波传播的必要条件。但是这些条件不是充分的,因为它们是根据关于这个波存在的假设得到的。只有根据上述的详细分析颗粒分离的基本动作才能得到充分的条件,且不取决于所讨论的积分关系式。分离条件的最简单、然而比较一般的公式是 C. A. 赫李斯季阿诺维奇首先提出来的[12],并表示瓦斯的断裂力需要超过抗断裂强度 σ_p 。在著作[13]中,在考虑和不考虑渗透性的情况下对此作了详细考察。分析结果表明:当渗透性不高时,可以忽略,而材料的吸附性质不起作用。但是,在研究用卸除地压防止突出的可能性时,必须考虑到渗

透性,因为在这时透气性增长了1—3个数量级[14]。在确定足以激发分层分离的暴露速度时,同样必须注意到渗透性。

不考虑渗透性时,分离条件具有形式

$$m_r(P_1' - P_2) > \sigma_p. \quad (2)$$

从关于突出危险材料性质的已知资料[8、10、14—17]能得到 m_r 的粗略估计。例如,对于煤, m_r 为 0.05—0.02, 对于砂岩达到 0.8。必须注意到,在一般情况下, m_r 和 σ_p 值具有比上述更广的涵义,即考虑到地区作用和裂缝叉生的特征。砂岩的 m_r 值大,决定于试验确定的、在压缩力作用方向靠近破坏波前有大的龟裂[16]。

不可能突出的充分条件是与(2)式相反的不等式:

$$m_r(P_1' - P_2) < \sigma_p \quad (3)$$

由这个不等式可以得出结论:用降低孔隙压力 P_1' , 减少表示瓦斯压力作用面积的 m_r , 以及用增加反压力 P_2 和强度 σ_p , 都能防止突出[13]。按照公式(3),下列条件能作为安全标准

$$P_1' < P_k \quad (4)$$

式中 P_k —孔隙压力的临界值。对于煤和岩盐 P_k 为 3—10 巴, 对于砂岩约 30 巴。按照公式(4),材料排放瓦斯能达到安全性。

如上面所指出的,在分析卸除地压对突出的可能性的影响时,必须考虑渗透性质。分析表明,在开采解放层时,在明显地超越自然排放区的某些地区,也保证了安全[13、18、19]。问题在于,在开采解放层时,只在下述地带,材料渗透能力的增高才直接影响到孔隙压力,在此地带内断层和横裂缝的发展造成了被解放层和解放层巷道连通的渠道网(图3中解放带2)。在此地带之外,由于卸压使透气性增加,但没有导致孔隙压力的降低,然而,在掘进被解放层的巷道时,出现迅速排放瓦斯的现象。同样应该注意到,在卸压时,大大减弱了发生在第一阶段的过程的强度,减少了(或完全停止)暴露前压缩方向的龟裂。在防止砂岩和岩盐的突出时,

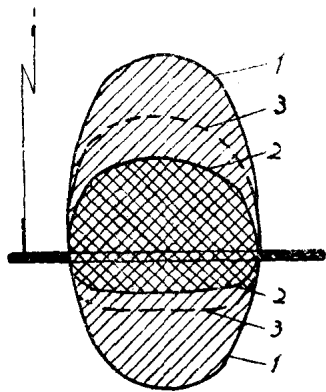


图3 按地压和瓦斯压力因素的解放带:

- 1—按 γH_0 标准的解放带,
2—按残余瓦斯压力标准的解放带, 3—瓦斯排放带。

后一情况对解放作用特别重要。

在突出第二阶段的破坏, 通常不能归结为仅仅是分层分离。分层分离是一切突出的最重要的组成部分, 决定着突出的主要特征, 但并没有全面反映出现象发生过程的多种多样形式。例如, 分层分离波绕过的部分的压碎, 常常决定于地压作用, 伴随声响脉冲, 并激发此时暴露的面上的分层分离。由于波前前方的应力重新分布, 也发生类似的效应。因此, 突出常常是多次重复的破坏组合, 一部分是由于瓦斯参与下的分层分离而破坏, 另外一部分是被地压破坏。在急倾斜煤层, 某些部分在自身质量的作用下分离。由上所述可以明瞭, 无论在突出的第一阶段——条件准备和激发, 还是在第二阶段, 地压都是重要的。它影响到材料的力学性质, 使之损坏和变形, 在离暴露面一定距离处它使瓦斯保持高压, 它促使稳定性丧失并激发分层分离过程, 它促进颗粒分离波绕过部分的破坏, 它导致应力重新分布、附加变形和波前前方的材料损坏, 并使得平行于直接靠近波前的压缩的裂缝叉生, 从而增加了断裂力并易于分离。

因此, 减少对突出危险材料的地压的必要性是显而易见的。相应的安全条件可以表

现为要求在沿危险煤层开始工作时把原始的垂直应力 σ_y 降低到安全值 γH_0 的形式:

$$|\sigma_y| < \gamma H_0 \quad (5)$$

安全值 γH_0 按照有关头几次任何形式的动力现象的资料确定。条件式(5)在实践中表现出良好的效果, 并被广泛利用于确定解放带边界[20]。如上所述, 既然卸压使得被保护层巷道工作面附近区域瓦斯压力降低, 则标准(5)也是按瓦斯压力因素的安全条件。因而, 这是反映应力状态和瓦斯压力因素影响的综合标准。

突出的第三阶段(瓦斯和颗粒混合物的运动)

从研究突出原因的观点看, 这一阶段没有多大意思, 然而在分析限制强度和防止过程扩大的可能性时, 把它划分出来是必要的。从煤体分离的煤粒和瓦斯急速冲向较低压力区——采空区。在混合物运动时, 其不同点的压力和速度是不一样的。靠近破坏波前压力较高, 而速度比混合物和空气的交界处低一些; 随着运动, 瓦斯进一步膨胀, 速度继续加快。在吸附材料的情况下, 在其飞行时涌出一部分吸附瓦斯。但是过程整个特性仍然相同。

混合物遇到障碍时, 速度降低, 而压力升高, 它以声速向破坏前沿推进, 到达前沿就使压力 P_2 增高。如果这种增高对破坏条件(2)是足够的, 那么破坏波就停止。如果在此之后压力急剧下降, 则过程可能恢复。在瓦斯和颗粒混合物通过很窄的突出空洞口时, 这种效果是常有的, 并引起在实践中见到的过程的循环性。

混合物增高的压力, 如上所述, 可用在装设掩护支架以限制突出强度情况下[6—11, 18—21]。在材料很松散时, 由于其密度大大减小, 在破坏波前后的瓦斯压力急剧降低。因此, 上面引用的对掩护支架所受上部压力的估计高于实际发生的载荷。掩护支架所受的实际压力, 通常接近于在瓦斯和颗粒混合物与空气交界处产生的压力, 后者决

定于冲击空气波传播的条件。

从混合物与空气在其交界处的速度的连续性条件,不难作出结论:冲击空气波属于弱的一级,以实际等于空气中声速的速度传播,其波前压力突变 ΔP 满足等式

$$\Delta P = P_a \chi_a \frac{V + V_a}{a_a} \quad (6)$$

式中 χ_a ——空气绝热指数($\chi_a = 1.4$);

V ——瓦斯和颗粒混合物在与空气交界处的速度;

V_a ——风流中空气运动速度;

a_a ——空气中声速($a_a = 342$ 米/秒)。

从公式(6)得出结论,甚至在很有利的条件下($V = 50$ 米/秒),压力突变也不超过 0.20 公斤/厘米²。

为了不让冲击波传播,在其路途上装设能经受住载荷 $2\Delta P$ 的障碍物就是足够了(在弱冲击波反射时,压力突变增大一倍)。比较细的掩护支架便能经受住这种压力,如果用能够消除大的弯曲力矩的加固肋或支柱加固的话。由于在混合物与空气交界处压力仍然是连续的,上述的估计也能利用于掩护支架的设计。在东德进行的实际工作表明,以压力不超过 2 公斤/厘米²计算的金属掩护支架,保证能限制突出[11、21]。十几年来装设这种掩护支架已成为东德钾盐矿井工艺中必不可少的组成部分。类似的装置,乌克兰科学院地质工程力学研究所和马凯耶夫煤矿安全科学研究所建议用于限制砂岩突出,而全苏矿山测量科学研究所建议用于限制冲击地压。

当突出通过窄口子发生,或者来自破坏波前的气流受阻时,压力突变低于上述的数值。矿井试验[10、11、15、22]证实了这一结论。

对于弱冲击波,具有

$$V = \frac{a_a \Delta P}{\chi_a P_a} - V_a$$

从该公式可以得出,对于风流反风(在这时 $V > 0$),压力降必须满足不等式

$$\frac{\Delta P}{P_a} > \chi_a \frac{V_a}{a_a}$$

在风流速度为 3 米/秒时,在压力突变等于 0.012 公斤/厘米²的情况下发生反风。为了防止反风,只要削弱冲击波或使其衰变就行了。这一点可用各种技术手段做到,其中包括,在冲击波道路上设置岔道和挡板。

此外,要指出一个重要情况,即冲击波能用作关于突出的及时通报。它的速度(342 米/秒)大大超过瓦斯和颗粒混合物的速度(每秒几十米)。因此这种最简单的传感器能比混合物到达早得多地报道突出事故。这种传感器用于自动安设掩护支架(为限制突出和防止反风)也是合适的。在东德这种传感器已被广泛运用于此目的。

上述考察的各别实际结果对解决防止突出问题有参考价值,现归纳如下。首先应该把注意力集中在尽量扩大解放层的利用上,在深部水平和整个矿井的设计和建设阶段要实行,并使解放层开采超前一个阶段;在全国开采突出危险煤层的所有矿井编制和实现年度和远景采掘计划阶段也要实行。开采解放层,特别在开采上解放层的条件下,在其强烈卸压期间,应该人工抽放危险层的瓦斯。如各地都有效地利用解放层,就能使 $80—90\%$ 的急倾斜危险煤层和 $50—60\%$ 的缓倾斜和倾斜危险煤层,在受到解放作用的条件下开采。

在揭开危险煤层时,必须采取局部解放措施,即开采无危险煤层或岩层,并接着排放揭开地点的瓦斯。

必须放弃运用倒台阶形工作面,转而采用直线形工作面以浅截深机组和刨煤机开采急倾斜煤层。尤其必须扩大掩护式机组的运用,以保障直线形回采工作面沿煤层倾斜方向推进。

最有前途的是在危险煤层用回采工作面不要求经常有人的方法采煤。并且聚集在危险煤层中的地压能量,尤其是瓦斯能量,将被利用于有控制地破裂煤层[4]。

应该特别强调加强巷道掘进机组的制造和推广工作的重要性。机组应该装上自动楔开式装置,以便自身可作为特殊的、能限制煤和瓦斯突出发展的掩护支架〔7〕。广泛运用这种机组,将解决准备巷道防止突出的问题。这也便于在突出危险煤层更广泛地改用柱式采煤法。在制造打炮眼,打卸压和排放钻孔和煤层注液钻孔的设备时,应该规定足以限制煤自行破裂的反压力或推力。这将保证实施防止突出的区域性和局部性预防措施的安全。

在开采单一突出危险煤层的情况下,在

采取防止突出措施的同时,还应特别考虑万一突出发生时怎样控制突出的有害后果。这方面的措施首先是安设自动化的门式掩护支架(它由记录空气波前压力突变的传感器协同动作)和建立利用冲击空气波通告突出的系统。在突出时瓦斯可能扩散到的通道上必须设有保障生命安全的峒室,而矿井通风系统应能保证在突出场合下迅速稀释巷道的瓦斯。

在结束时必须指出,防止突出的问题主要是工艺、设计和组织问题。应该集中主要力量有效地解决这个问题。

参 考 文 献

1. Петухов И. М., Линьков А. М. Волны разрушения при горных ударах. Л. Тр. ВНИМИ, сб. 88, 1973, с. 195—204.
2. Черепанов Г. Л. Механика хрупкого разрушения. М., «Недра», 1974, 640с.
3. Тарасов Б. Г. Прогноз газообильности выработок и дегазации шахт. М., «Недра», 1973. 208с.
4. Петухов И. М. Горные удары на угольных шахтах. М., «Недра», 1972. 221с.
5. Чеботков И. П., Заставенко П. Я. Выбор рациональной скорости бурения скважин в выбросоопасных пластах. «Уголь Украины», 1971, №7. с. 44—45.
6. Степанович Г. Я., Николин В. И., Лысиков Б. А. Газодинамические явления при подготовке глубоких горизонтов. Донецк, «Донбасс», 1970. 110с.
7. Петухов И. М. Некоторые вопросы исследований динамических проявлений горного давления в калийных рудниках. В сб.: Газодинамические явления на калийных рудниках. Л., изд. ВНИИГ 1974.
8. Некрасовский Я. Э. Разработка пластов, подверженных внезапным выбросам угля и газа. М., Углетехиздат, 1951. 223с.
9. Некрасовский Я. Э. О мерах безопасной разработки угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа. «Уголь», 1974, №11. с. 12—18.
10. Бобров И. В., Кричевский Р. М. Борьбы с внезапными выбросами угля и газа. Киев. «Техника», 1964. 328с.
11. Eckart D., Gimm W., Thoma K. Plötzliche Ausbrüche von Gestain und Gas im Bergbau. Freiberg. 1966. 235s.
12. Христианович С. А. О волне дробления. «Изв. АН СССР, ОТН мех. и маш.», 1953, №12. с. 1689—1699.
13. Линьков А. М., Петухов И. М. К теории разрушения пласта угля прослойным отрывом. Л., Тр. ВНИМИ, сб. 88, 1973. с. 205—221.
14. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа. М., Госгортехиздат, 1961. 263с.
15. Быков Л. Н. Теория и основные принципы эксплуатации пластов, склонных к внезапным выделениям газа. Харьков, ОНТИ НКТП, 1936, 184с.

岩石突出和瓦斯突出的预测和预防

磯部俊郎

1. 疑问和问题

最基本最大的疑问也许是岩石突出和瓦斯突出应否归入同一范畴抑或作为分别的现象予以考虑？

一种说法认为岩石突出和瓦斯突出不能混同，是把它截然分开后进行两者的研究。另一种说法认为岩石突出和瓦斯突出是完全相同的现象，若在岩石突出中加进瓦斯的因素就成为瓦斯突出。或者说，虽然有纯粹的岩石突出，也有纯粹的瓦斯突出，但无论哪一个都有区别不清的情况。因此，即使归入同一范畴也许是无妨的，但要对其断定是不可能的。

若如此，也许就成为不知道依照哪一个和采用哪一个为好的局面了。而且，笔者和许多研究者一样，无论是岩石突出还是瓦斯

突出，实际上都没有目睹过，即使看到也是发生突出后的状态，不过根据当事者的说明而有那样的想象。可是，如果认为以上这件事无法解释时，则除了统一研究的方向外，大概不会有别的办法。

以下通过一些实例先把情况作一说明。

例1 旧住友奔别煤矿在距地表以下约1200米的深度处进行采掘，这对日本来说肯定是掘进最深的地方。在该水平深度的某一条巷道中发生了瓦斯突出或岩石突出那样的现象大约达到100次。发生的地点是岩石巷道，岩石种类是粗粒砂岩。在突出时的瓦斯量出乎意外地少，突出空洞呈现了在瓦斯突出方面是独特的不规则形状，与突出同时可嗅到若干的石油气味。

在同区域的附近，在平松教授的指导下也进行了岩体应力的测定，其结果是量测到了异常大的应力。而且，根据我们用地震计

16. Абрамов Ф. А., Шевелев Г. А. Свойства выбросоопасных песчанников как породы-коллектора. Киев, «Наукова думка», 1972, 98с.

17. Проскуряков Н. М., Фомина В. Д., Рожков В. К. Газодинамические явления на Солигорских калийных рудниках. Минск, «Полюмя», 1974, 212с.

18. Табаков А. Г., Чернов О. И. Работы ВостНИИ в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа за 1955—1960 гг. в об.: Борьбы с внезапными выбросами в угольных шахтах. М., Госгортехиздат, 1962. с. 174—249.

19. Заицев Н. А. Совершенствование раз-

работки крутых пластов Донбасса. М., «Недра», 1967. 223с.

20. Защитные пласты. Л., «Недра», 1972, 424с. Авт.: И. М. Петухов, А. М. Линьков, И. А. Фельдман, В. П. Кузнецов, В. В. Тетеревенков.

21. Duchrow G. Analytische Untersuchungen zur Schadensbekämpfung bei CO-Austritten in Werra-Kalibergbau. Freiburger Forschungsh. 1964, A. 304, s. 119—165.

22. Wolf H. Aerodynamische Wirkungen der bei Ausbrüchen von Salz und Gas freiwerdenden Gasmengen. Vortrag International. kolloqu. Plotzl, Ausbrüche. Pecs. 1963.

于不凡 译自: «Уголь», 1975, №9, 9—15, 王 湘校

量测地层声响的发振点的结果,可以认为在这区域内分布着许多的发振点。

例2 北海道的石狩煤田是处于美呗附近的峰延山脉境内,其南部和北部的赋存状况相当不同。煤层的变化即断层和褶曲在南部夕张地区显著,在北部北空知方面没有南部那么显著。但是,瓦斯突出的发生频率北部呈压倒的多数,而南部就少。据说以前在南部没有突出,但是,近年来,旧夕张一井,清水泽井和南大夕张矿、万字等煤矿也发生突出。

这大概可认为是采掘区域进行到深部就导致地压的增加的缘故。另一方面,如从瓦斯抽放方面来考虑,可以说北部比南部的瓦斯抽放要困难。例如,瓦斯抽放钻孔每一孔的平均抽出量在北部每1分钟不过几升或10几升,但在南部方面要大一位数。矿的总瓦斯抽放率(抽放瓦斯量与总瓦斯涌出量之比)在夕张地区虽达到60~70%,但在北空知仅仅为30%上下。大体上可以看出,瓦斯的作用与突出的发生是有紧密的关系的。

例3 几年前在归三菱美呗煤矿三次大的岩石突出是发生在工作面回风巷道中。特别第三次是最大的岩石突出,当时所发生的岩体振动在现场中感到象地震似的摇晃,在远处的札幌、旭川的地震计上也被觉察到而推断其震源地是在美呗附近。发生岩石突出的煤层巷道的顶底板是非常坚硬的砂岩层,煤层也属硬煤层,发生这一事故前巷道上几乎没有来压。虽然采空区所实施的是全部充填,但因煤层倾斜的关系,充填不能认为是完全密实的,而存在着所谓无支护天井那样的状况。为此,在岩体和附近的煤层内产生着异常大的应力,因此可推断受到最大压力的回风煤层巷道上就发生了岩石突出。岩石突出,在工作面方面发生第1次后,就顺次向采空区方向发生第2次、第3次…。观察发生突出后的迹象时,虽然在岩体上也可见到裂隙,但主要是煤层部分遭压碎,有些地方在顶板和煤层之间的境界面上脱层成楔状空间而进

入到相当深处,在其空间内可看到被粉碎的微粉化了的煤炭。之后,平松教授和东大的铃木教授也对附近的岩体应力进行了测定。结果表明,该区域的应力相当大。

例4 最近在三井砂川煤矿的登川井,于水采工作面的三条中间平巷间发生了有伤亡的相当大的岩石突出事故。这些中间平巷自然是沿煤层的,被破坏的巷道中的横木,因受到了顶底板剧烈的冲击压力发生了弯曲折断。由于是水力采煤工作面,倾斜度大,故所说的横木对煤层而言是起到了梁的作用。在这里的顶底板也是结实的,特别是顶板为坚硬的砂岩。正因采空区是不充填的,在其空间变得相当大时就呈现出突如其来的冲击现象。因此,推断其犹如前述例3那样,当煤层被采掘,在空洞周围就有应力集中,稍有冲击,沿层巷道部分的煤层就破坏,而形成这种现象。

例5 这是最近时期的事实。在夕张市北部煤田的清水泽煤矿,在工作面中间部位上曾有小规模的瓦斯突出。突出了的部位其底板的一部分隆起象肿瘤似的压迫着煤层,煤层薄化,只残存着上部十几厘米的夹矸煤,只是这十几厘米的煤夹层突了出来。在非常靠近这儿的地方,约二年前,在沿层掘进工作面中也有突出,这时的煤层有足够厚度,也还只是上部十几厘米的煤夹层发生突出。

这种工作面突出后,为了究明原因,对底板鼓起部分通过推进工作面进行追踪,这种状况延续相当长,终于判明了那是断层的事实。而且,突出煤粉好象是从断层部位通过一到三根管道流出,而在突出工作面上形成合流。由此状况推测,由于断层产生薄弱部,而远离断层部分的煤层因是结实的,应力就向其部位移动,薄弱部位变为卸载状态,仅仅是瓦斯压力和瓦斯流动力就使煤粉形成突出流的形式。

除以上实例以外,还有许多例,如在旧歌志内煤矿有二次大突出,在朝日煤矿掘进迎头有由于石油系气体引起的砂岩突出,在

北炭幌内煤矿只要遇到逆掩断层时就会发生岩石突出等,但在此省略了。

现回到本节最初提出的问题上来看,即岩石突出和瓦斯突出是否相同这一问题。笔者对此有如下的想法。

纯粹的岩石突出,即由应力集中而产生的突然破坏现象,的确是存在的。上例中的旧三菱美呗煤矿的现象就相当于这种情况。同时,在隧道掘进和金属矿山中也有岩石突出。另一方面,也可能有与应力无关的纯粹的瓦斯突出,这些方面虽然缺乏确切的根据,但上述的清水泽煤矿的瓦斯突出等例推测是相当于那种情况,以前在公害资源研究所所进行的在管道内压缩填满煤粉,从一端作用以瓦斯压力,而由另一端使其突出的实验中也不能否定其存在。

因此,在煤矿中发生的瓦斯突出或岩石突出,无论是人为地称之为瓦斯突出性的岩石突出抑或是岩石突出性的瓦斯突出,不能不说大多是存在于两极端的中间。若这样考虑,则无论是瓦斯突出还是岩石突出,通常在煤矿内是归入同一范畴之中的,应力和瓦斯的共同作用的程度可以有各种各样的组合。

但是,实际上这样的地压和瓦斯压力究竟怎样组合的呢?在突出时发生的异常庞大的瓦斯量究竟以何种机理而解吸出来的呢?这些还是很大的疑问。

第二个问题,是例1所述的认为是由石油系气体引起的砂岩突出。由于当时的特征是瓦斯量不那么多,有人称之为岩石突出,有人称之为瓦斯突出。虽然瓦斯量不多,但突出规模大,且突出空洞呈不规则形状,具有所谓瓦斯突出的特征。一般来说,是否有比甲烷重的气体起着某种别的作用,这是十分值得怀疑的。

例如在日本以外的世界各国的岩盐和钾盐矿山中,发生着频繁的二氧化碳气体突出,而且其规模比甲烷突出大得多。就以煤矿来说,法国的塞文诺煤田、波兰和捷克的上西

里西亚煤田,大多是二氧化碳突出,且规模甚大。由此看来,煤层内部具有的瓦斯的物理性质,即使其液化的容易性或粘性等,也许有着相当大的关系。根据大多数研究人员判断,甲烷气体还相当大量地被吸附于煤层内,被吸附的所谓瓦斯的膜可想象为近似于液化的状态,推测其根据是由于吸附热大概相等于凝缩热。由于瓦斯越重就越容易吸附,在这一点上似乎有了解决问题的钥匙,但是不能不考虑在该状态下的煤层和岩体状态之间的联系性,这也是一个大的疑问。例2就是那个问题。

第三个问题是在岩石突出时有地震,而在即使大的瓦斯突出时却没有地震的问题。旧三菱美呗矿的岩石突出与三井砂川矿的岩石突出有着类似的现象,即在井上所有地方有地震之感(北炭幌内矿发生岩石突出时也有)。但是在日本煤矿史上可说是最大的两次突出(旧歌志内煤矿)中恰未听到类似地震那样的情况。都是岩体或煤层的破坏,一个地方有地震现象,而另一地方就无此现象。虽然也有根据地震现象的有无来考虑如何区分瓦斯突出和岩石突出的,但只是根据状态区分而已,不能完全解释清楚。

在此不得不再提出一个问题,即无论是瓦斯突出还是岩石突出,大多发生在砂岩发达的部位上。因而,由于砂岩的强度大,就在强大应力下造成与砂岩接触的煤层部位的破坏,但仅凭这点不能判断地震的有无。推测这也许是在破坏的进行状况方面有某些速度论的差异,或是由于应力能量被破坏碎片吸收的程度不同,具体说来,这是一个十分难的问题。

以上是三个大的问题,若将其整理,就引出以下一些问题。

(1)在岩石突出和瓦斯突出方面伴随有破坏的情况,这是众所周知的事实,但对于破坏这问题是否能使用速度论?

(2)吸附瓦斯起怎样的作用?

(3)随应力的大小不同破坏的状况是否

有差异?

(4) 瓦斯压力的作用究竟怎样?

(5) 在瓦斯突出和岩石突出方面有否予兆?

2. 关于瓦斯突出和岩石突出的原因

在本文中, 以个人的肤浅看法, 谈谈对突出原因的见解。

岩石突出和瓦斯突出都是以岩石破坏为先导。当然, 破坏的规模及由破坏产生的碎片大小等方面存在着各种各样的差异, 但无论如何必须是先有破坏。

那么, 破坏的机理究竟是怎样的? 所谓破坏现象大多是由于物体的状态不同而被感觉到的现象。例如试用岩石试样进行弯曲试验来看, 若预先弄出小伤, 由此扩大就在那里断裂。在力学上是以应力集中来解释的, 但不管怎样, 似乎可以认为其中潜藏着敏感性。一般地说, 岩石和煤层因其不均质, 在内部含有各种各样的成分、强度等的波动。但是, 若把它分割成非常微小的立方体来考虑, 我们就可以将细小立方体内部视作略似均匀的介质。图1所示就是其模式图, 图中1区强度最弱, 号码数大者表示强度大。而同一号码的区域的强度认为是略等的。若如此, 破坏的形式可想象如下。首先, 若作用某个大小的压力, 则最初被破坏的部分是1区。当1区被破坏, 在这区域周围上引起应力的集中, 接着, 在邻近1区的2区发生破坏, 而扩大破坏点。若破坏了的1区周围的强度充分大时,

	7	1	4	2	5	6	8	3
	9	3	3	4	2	1	3	5
	4	6	8	3	6	3	2	4
	9	5	1	8	2	7	3	2
	2	8	3	4	5	4	1	10
	9	3	5	1	7	2	6	4

图1 强度分布图

破坏就孤立于1区内, 进而要靠应力的增大再破坏2区。这样, 根据周围的性质不同, 其破坏的发生和传播的方法是不同的, 但作为全体而言, 强度波动小, 弱区多时, 破坏就迅速达到全体。与此相对, 同样作为全体而言, 强度的波动小, 可是当强度大的区域多时, 破坏只能被限于局部上。破坏波及到全体时, 内能为起破坏作用而被消耗掉, 当无破坏进行时, 在内部则仍有大的弹性能而被积蓄着。

在这里, 为区别这两者, 首先, 看一看破坏波及全体时的情况。若破坏波及于全体, 这种岩石或煤层部分将被分割成细小的碎片。若按矢野贞三的最近的研究, 瓦斯突出或岩石突出时所突出的岩石碎片或煤粉均有无数的“龟裂”(译者注: 意指用显微镜检视时有无数的微细裂隙), 对于未喷出部分“龟裂”就不太发达, 这对于说明这一问题是有用的。

若如上述那样发生了内部粉碎圈, 则在粉碎圈所有范围内强度就显著降低, 将变成近似于所谓的无应力圈。在煤矿中, 这种倾向最大的是煤层, 在煤层中则是软弱的煤层, 或受地壳变动而变为软弱的煤层部分。另外, 顶底板是坚实的砂岩层时, 破坏区域因在上下方面不能扩展, 所以仅在煤层中产生粉碎圈。这样的无应力圈状况可由图2表示。即在应力圈中由于产生了微应力和无应力粉碎圈, 所以在这里发生着瓦斯的解吸。正如前面所述那样, 因为吸附瓦斯是放热反应, 所以要把吸附瓦斯使其解吸当然必需加进某种形式的能量。在能量的收支上, 根据以下那样的考虑, 估计容易获得解吸的能量。即, 如使1克分子的沼气吸附在煤炭上, 则吸附热大致是 10^4 卡, 平均1毫升的沼气吸附热是0.5卡。另一方面地压的能量, 如果考虑使其破坏至少是 10^2 公斤/厘米²的话, 则破坏1厘米³的岩石或煤炭的地压能量为1~10公斤·厘米/厘米³, 大体上还是近似于0.5卡。因此由破碎释放的弹性能量的一部分被用于解

吸来看,大概不会有不妥之处。若这样,则无应力圈内的瓦斯压力随同破碎的进行就上升,瓦斯的能量在内部积蓄,终于将破坏阻力而产生煤粉流。这时,由于煤炭表面上未解吸尽的残余瓦斯和介于各煤炭粒子间瓦斯等的作用,煤炭自身内摩擦系数下降,不用说就越加变成容易流动的状态。这样,破碎煤炭和瓦斯的混合成所谓的瓦斯流流出,这就是所说的突出现象。这时的弹性能量为大部分破碎和瓦斯解吸所吸收,由于弹性波没有出现,所以不会形成地震。

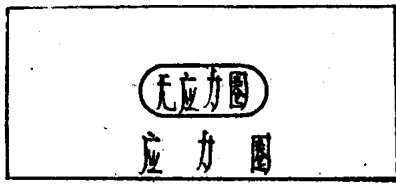


图2 无应力圈的发生

再看第二种情况即应力积蓄的情况,从常识上来说,这时虽可考虑会形成岩石突出,但若所遇煤层具有包藏的瓦斯时是否一定会形成瓦斯突出的问题?结果就成为岩石突出性的瓦斯突出或瓦斯突出性的岩石突出。应力十分大且煤层均匀而若强度大时,破坏状况就采取所谓的理论的形态,即,一般地,岩体的破坏因为是靠对自由面产生的拉伸应力而发生的,所以煤层向自由面鼓出,在内部与自由面呈直角方向上由于发生拉伸应力,所以以板状破碎的形式而飞出来。这时的破坏由经验而知,是呈现一定厚度的鳞片状的碎片,而不似粉碎状。在煤层中,各碎片边碰撞边摩擦虽然也有若干的碎片被粉化,但这时所形成的瓦斯涌出不多。也就是说大部分的瓦斯是以潜藏在破碎未进入到内部的碎片中的方式飞出的。由于碎片大,瓦斯解吸量也少,能量吸收就少,过剩能量作为振动被释放出来。

岩体软弱时,如图3所示那样从A点到B点的裂隙通过锯齿形的通道进展,在岩体坚固的情况下以直线进展。即使裂隙扩展速度

恒定,两者的轨迹的长度也存在着差别,如果说在曲折部改变为下一方向需要若干的时间,则前者是缓慢的破碎,而后者就变成高速破碎,这也可以说是说明速度论的模型之一。而在瓦斯存在的条件下,前者变成瓦斯突出,后者为岩石突出也伴随有若干的涌出瓦斯。

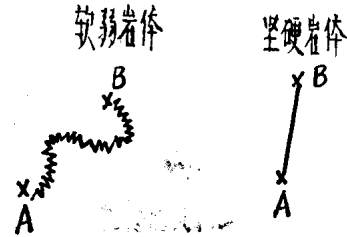


图3 根据岩体强弱的破坏传播机理

以上笼统说了瓦斯突出、岩石突出的时间过程,但还另有几个重要的附加条件要予以说明。

第一,煤层内的瓦斯压力是否激发突出的一个原因。众所周知,瓦斯因是流体,只要没有特殊的情况,从局部来说,均匀压力可达到一切方向上。因而,在封闭体系中由于从各点到所有方向上作用着瓦斯压力,因互相抵消就变为无任何作用。但是,由图4来看,于某处一方存在有自由面,为自由面所隔的体系外的压力如果比体系内的瓦斯压力小,则仅这种压力的间断在系内的自由面附近产生应力,促使体系内煤层或岩层的破碎。在现场中,自由面大体是为有一定宽度的裂隙带所掩覆,所以这部分的瓦斯压力就没有,由此而向内部前进则瓦斯压力就迅速上升。因此进行瓦斯抽放降低瓦斯压力对于防止突出是有用的措施。而且内部的瓦斯正如许多人所认为的那样存在有游离瓦斯和吸附瓦斯,其增加量如图5所示是随着压力而变化的。所以自由瓦斯的增加量与压力成比例,而吸附瓦斯随同压力增加到某一极限就不增加。由此,即使抽放若干的瓦斯,按理也有大幅度降低瓦斯压力的效果。

第二个问题是所有瓦斯突出、岩石突出