

西德预报和防护瓦斯-煤突出技术进展

李素琴

中国科学院力学研究所，北京（邮政编码 100080）

摘要 综述了西德预报和防护瓦斯-煤突出的技术进展，包括：对瓦斯-煤突出的认识；测量技术和预报方法的改进；有关防护的措施。

关键词 煤与瓦斯突出；测量技术；预报；防护

西德北莱茵-威斯特法伦州 (Nordrhein-Westfalen) 有关部门对瓦斯-煤突出 (gas-coal outburst) 问题进行了长期的研究，本文分三个方面对其技术进展予以综述。

1 对瓦斯-煤突出的认识

造成瓦斯突出（瓦斯突然喷出）的因素有两个。一个是煤层可解吸瓦斯含量大于某个临界值。这个临界值取为 $9 \text{ 米}^3/\text{吨}$ ^[1-4]。当煤层可解吸瓦斯含量低于此值时，一般不会出现瓦斯突出危险。只有大于此值时才需要进一步监测。第二个因素是，出现特殊的矿山压力使瓦斯释放的速度增快，同时使煤的强度减小；或者是矿井进到煤层边缘或不规则煤层时，呈现矿压增高，同时瓦斯压力增大现象。当上述两个因素同时存在就有瓦斯突出的危险。因此，判定是否会出现瓦斯突出，首先要测定或估计煤层的可解吸瓦斯含量。通常采用直接法，对此西德的有关公司和研究所具有丰富的经验和功效显著的测量装置。但完全直接测定费用昂贵，因而可在允许的范围内与估算配合。

当煤层可解吸瓦斯含量大于 $9 \text{ 米}^3/\text{吨}$ 时，就必须监测瓦斯的泄出过程。既要监测瓦斯排出的可能性，也要测定瓦斯排出的短期起伏，因为这种短期起伏也可提供气体释放异常的信息，提示瓦斯-煤突出的危险。为了进行这种监测，必须设置连续记录甲烷测量装置。

文献[2]指出，应当把瓦斯-煤突出与冲击压力区别开来。这两者虽然有联系，但在起因、进程和识别方面都有明显差别。瓦斯突出是出现在新暴露的尚未排放瓦斯的煤壁中，而冲击压力则出现在以前的巷道段中。

2 测量技术和预报方法的改进

为了及时作出预报，必须缩短测量时间。因此测量和数据处理都应在工作面（井下）进行。一个合适的方法是，监测从煤壁钻得的煤样中排出甲烷量随时间的变化。从这个变化可以确定两个重要特征参量：每吨煤中可解吸的甲烷含量 q_d 和解吸指数 k_t 。

令 \dot{V}_1 表示每吨煤样从煤层钻出后 1 分钟内甲烷解吸流量（单位是 $\text{米}^3/\text{分}^{-1}\text{吨}^{-1}$ ），则有

下列近似关系：

$$q_d = AV_1$$

时间常数 A (单位为分钟) 取决于试样的粒度。若粒度等级为 0.4—0.63 毫米，则 $A \approx 29.4$ 分钟。

k_t 为甲烷解吸流量随时间减少的参数。以甲烷解吸流量的对数为纵坐标，以时间的对数为横坐标，所画直线的斜率即为 k_t 。它是一个无量纲数。正常排放瓦斯的煤， $k_t = 0.645 \pm 0.035$ 。根据现有经验，如果 $k_t > 0.75$ ，就有瓦斯-煤突出的危险。

在工作面上进行实时监测，要求使用自动化仪表进行测量和数据处理。因此研究自动化解吸仪就成为推广应用此方法的重要前提条件之一。文献[1—3]报道了先后研制过的几种类型解吸仪，现分别介绍如下。

2.1 压力解吸仪 这种仪器并未研制成功。尽管压力测量传感器的灵敏度和精度都令人满意，但测量的设计原理有问题。解吸速度一方面决定于原始甲烷含量，另一方面也取决于突出可能性的大小，用测量手段无法区别这两个因素。

2.2 热效式解吸仪 此种仪器使用德列格尔 (Dräger) 企业公司制作的 Ex-Warn B 型甲烷测量仪。其作用方式如图 1 所示，通过减压阀从压缩空气瓶中引出连续的空气流并将它送入探头。在仪器电输出端测到的值与解吸流量成正比。将此值直接输入电子采集器，再由计算器通过数学统计方法算出所需参数。

文献[1]还具体介绍了两种热效式解吸仪的样机。

2.3 导热式解吸仪 将泵与阿维尔 (Auor) 公司制作的 M510 型导热室联成一环路并将其引入此环路中 (图 2)。在测量室的出口端连有一根毛细管，用于平衡压力。按导热性测量原理来测出所需参数，比按热效应来测量要困难，1981年文献[1]指出此仪器尚未制成，到1986年没有再提及此种解吸仪。估计这种解吸仪可能仍未成功。

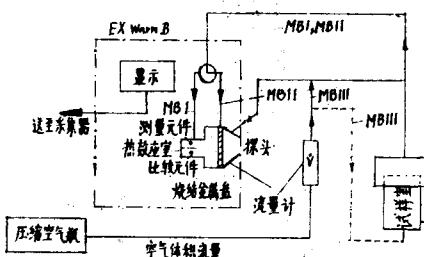


图 1 Ex-Warn B型甲烷热效式测量仪框图

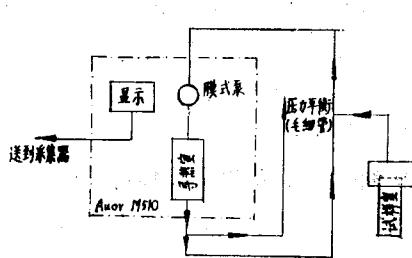


图 2 M510型甲烷导热式测量仪框图

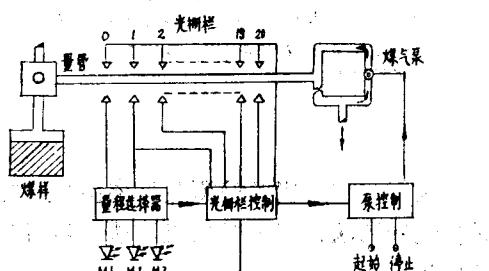


图 3 井下光栅栏解吸仪框图

2.4 光栅栏解吸仪 此解吸仪根据早已知晓的气泡运动原理，装置见图 3。在螺旋型弯曲量管内装有一系列光栅栏，作为气泡通过的传感器用。将气泡流过的时间输入电子采集器中，由计算器进行参数计算。

文献[3]还提到光解吸仪，但未作具体介绍，而详细介绍了电容器盒式解吸仪。西德最后研制出的可供使用的这种解吸仪的型号为 EL-KD-02。

2.5 电容器盒式解吸仪 EL-KD-02型电容器盒式解吸仪由数据采集和数据处理两部分组成。这两部分由一长约2米的电缆线连接。数据采集也是利用气泡的运动。气泡在螺旋软管中被解吸出的瓦斯推动。软管中安装了60个传感器来代替刻度。通过传感片电容的变化来反映气泡的行程。采用这种方式可避免使用光栅栏时由于温度变化产生的热应力所引起的干扰，还可避免管壁不洁或一些强光源（如矿灯）所引起的干扰。

电容器连接到交流电压发生器（图4），所产生的交流电压送入数据处理器。后者由频率计数仪、计时仪、控制电路和计算器等构成。经处理后可给出特征参数 q_d ， \dot{V}_1 ， k_t ， r^2 （回归运算的置信度）等。其中 q_d 是通过 \dot{V}_1 乘上时间常数 A 定出的，并换算成无灰分试样的值。这样求出的结果与实验室中的测量值十分一致，仅在几种情况下出现一些偏差，见文献[3]。文献[3]还指出 \dot{V}_3 （试样钻出后3分钟内每吨煤的解吸流量）值比 \dot{V}_1 值更为稳定，但它与瓦斯含量之间不是线性关系（见图5）。文献[3]指出，在另一计划内将研究瓦斯解吸流量与瓦斯含量之间的函数关系。文献[3]还较详细地介绍了实验室测定瓦斯含量方法的改进。这也是技术进展的一个重要方面。

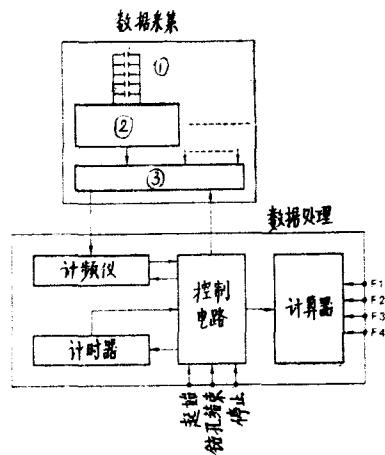


图4 EL-KD-02型电容器盒式解析仪框图

- ① 12个交流电压发生器，各有5个电容器并列
- ② 交流电压发生器（12个中的1个）
- ③ 频率转换器

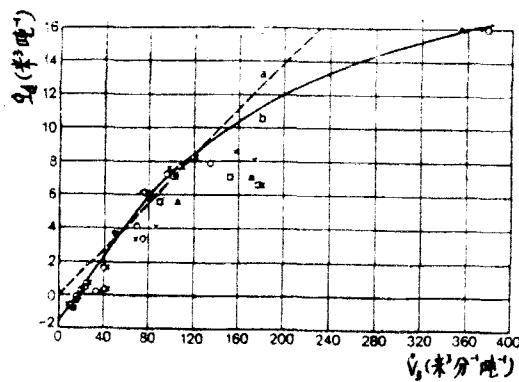


图5 煤试样的可解吸瓦斯含量 q_d 同 \dot{V}_3 之间的关系

- a 用迄今估算的时间常数画出的线性关系曲线
- b 根据实际测量结果得出的关系曲线
- \times EL-KD-02
- \triangle EL-KD-02
- \square 气泡解吸仪
- \circ 气泡解吸仪
- } 无烟煤

关于进一步提高检测瓦斯突出危险的速度问题，文献[1]中介绍了两种可能的方法。一是快速吸附法，另一是碘吸附法。后者是苏联科学家Ettinger提出的，此方法只能有条件地应用于井下。

2.6 测定甲烷浓度起伏的方法 现在介绍通过测定甲烷浓度的起伏给出有关瓦斯释放信息的新方法^[4]。煤中所含瓦斯随着煤的机械开采和爆破而不均匀地释放出来。另外在有瓦斯突出危险的区域内，甲烷不连续地从煤中排出。在局扇通风巷道内，由于风量较低，甲烷浓度起伏较为明显。文献[4]报道了测量布局和取值方法。将布置在矿井内固定位置上的甲烷测量装置（所举实例中共有32台）同自动记录装置及计算机（SPC 16/220）相连接。计算出每个测量点上每半小时内的平均甲烷浓度 $\bar{c}_{0.5}$ （每10秒钟测一次，共测180个值），并

算出相应的标准偏差 $s_{0.5}$, $s_{0.5}$ 就表示短期起伏的大小。

当风流量 \dot{V}_w 一定时, $s_{0.5}$ 反反映出甲烷排出量的起伏

$$\Delta \dot{V}_{CH_4} = \pm \dot{V}_w s_{0.5} / 100$$

为求长期趋势, 还应算出 8 小时 (一个班) 内甲烷浓度平均值 \bar{c}_8 和相应的标准偏差 s_8 , 以及每月的平均值、相应的标准偏差以及最大值与平均值之差 $\Delta \bar{c}_m$.

甲烷浓度起伏包括以下几个部分:

测量噪声 指由测量仪不精确和风流量起伏所引起的浓度起伏。

背景噪声 歇工期间包括测量噪声在内的甲烷浓度起伏叫做背景噪声, 它大于测量噪声。这只能是煤和岩石不均匀排放瓦斯所引起的。

操作噪声 由于开采、钻孔和爆破等作业引起的甲烷浓度起伏称为操作噪声。

文献[4]认为背景噪声对预报瓦斯-煤突出有重要意义。背景噪声增大, 意味着有瓦斯-煤突出的危险。不过信号较弱, 只在传感器靠近工作面的前壁放置时才会监测到。

8 小时标准偏差 s_8 和平均浓度 \bar{c}_8 之间的比也是一个重要参数。当局扇通风巷道内的 \bar{c}_8 值上升时, 也可作为瓦斯-煤突出危险的一个重要信息。

文献[4]还分析研究了不同情况下的瓦斯-煤突出, 包括: 局扇通风平巷掘进中的瓦斯-煤突出; 在局扇通风的超前巷道中的瓦斯-煤突出; 回采工作面上的瓦斯-煤突出。给出了各个特性参数变化的图形。对于上述不同情况, 各个特性参数的变化不同, 因此作预测时需分别处理。文献[2]则提出要在爆破工作地点测定打钻、刨煤或爆破等操作后头 30 分钟内所释放的瓦斯量 \dot{V}_{30} 。认为 \dot{V}_{30} 达到可解吸的瓦斯量的 40%, 就应作为瓦斯突出的征兆, 而达到可解吸瓦斯量的 60% 时, 就存在瓦斯突出的危险。

在测定出有瓦斯突出危险时应如何处理? 对此问题, 文献[2]提出应打观察孔, 在巷道和掘进上、下山用 95—140 毫米孔径, 在回采工作面上用 50—140 毫米孔径。在正常情况下, 在巷道式的井巷内需打两排扇形分布的孔。关于孔的深度及其他具体情况详见文献[2]。

当每米钻孔的钻屑量超过一定极限时, 就表明危险确实存在。对于 95 毫米孔径的钻屑量的极限值为 50 升/米。对于 50 毫米孔径钻屑量的极限值为 8 升/米。钻机人员还需同时观察是否出现瓦斯突出的征兆, 如瓦斯带着煤尘喷出, 有爆鸣声, 钻杆受到冲击或向孔内抽吸, 钻杆被吸住不能运动以及钻屑大量增加, 等等。在打钻孔的同时, 还应取煤样来确定解吸值 ΔP_{0-60} 。取样应在煤壁里 2.5—3 米处。 ΔP_{0-60} 值多次超过 20 毫巴也表示有瓦斯突出的危险。为了快速测定 ΔP_{0-60} 的值, FGK (西德埃森矿业研究公司矿井通风和空调技术研究所) 研制成 ΔP 快速仪, 其测定时间为 4—5 分钟。

3 有关防护措施

3.1 在确定有瓦斯突出危险后, 应立即采取必要的措施, 排除危险和保护工作人员。要排除瓦斯突出危险, 应把煤中瓦斯含量 (或瓦斯压力) 降低到临界值以下并把巷道壁附近的压力增大区设法推移到距巷道较远的深处, 以形成一个较宽的卸压保护区。具体办法是:

① 开采解放层。这一措施能同时起到上述两个作用, 因而是排除危险的最有效方法。在一个合适的顶板或底板邻近层先行开采 (这个邻近层应当是没有瓦斯突出危险的, 至少是危险性小并距危险区又较近的), 以使危险区的瓦斯压力降为临界值以下。文献[2]举出了一个成功开采解放层的实例。

②打卸压孔。在不能用开采解放层来进行大面积卸压的情况(如缺少适宜的保护层),则可用钻孔来进行局部卸压。这是目前排除瓦斯危险常用的方法。直径为95—140毫米的钻孔能使瓦斯压力和矿山压力都降低。钻孔应在掘进工作面的前方,深度应达到压力增大区,如果钻孔打到发生地质构造应变的、透气性大的煤层,则排出的瓦斯将很多,卸压作用也就显著。

卸压孔的孔径愈大,卸压作用愈强。但随着孔径的增大,危险性也增大,因为打孔时取出了物料,使煤体强度减小。

卸压孔若打在压力增大区以外,则很少有成功的可能。文献[1, 2]报道了一些打卸压孔成功和失败的例子。

3.2 在有瓦斯突出危险的煤层中进行工作,需采取特殊的安全保护措施。

①爆破和采煤时的保护。在引爆前应切断工作地点处电气设备的电源,直巷中人员回撤200米。在回采工作面爆破时,要清理工作面并通知邻近工作地点不要同时爆破。

在用刨煤机作无人开采时,只有在刨煤机停转后15分钟,人员才可进入工作区。

②打卸压孔时的保护。用风钻打钻孔,控制台应距离打钻处40米远,并应用特殊的钢木结构支持煤壁。打钻人员应在控制台的保护墙后。控制台上应安装一台用电池作电源的甲烷浓度测量仪。工作地点的其他电气设备都应切断电源。另外,在爆破、采煤和打钻的过程中,下风处的电气设备也应断开电源,以避免甲烷气随风到达时发生危险。为了迅速切断有关电源,采煤工作面上应安装紧急断电开关。如果刨煤时发生瓦斯突出,一般会出现特定的噪声,这时应通过紧急断电开关立即使有关电源切断。

③其他保护措施。在所有巷道和回采工作面设置紧急呼吸气囊,由压缩空气网络向它们供气。气囊之间的距离,在巷道中是50米,在回采工作面是15米。在工作人员逗留地点,需有额外的气囊。通讯系统除电话外,还要有由话筒和扬声器组成的安全火花型通讯联络,以便将情况和指令通知工作人员。所有在危险地区的人员都应有可能得到当发生瓦斯突出时应如何行动的指示。

参 考 文 献

- 1 Neack K, Janas H, *Gluckauf*, 117, 13 (1981) : 759—763
- 2 Noack K, et al, Proc. 20nd Int. Conf. Safety in Mines Research Institutes (1983)
- 3 Janas H F, Bassmann T, Opahle M, *Gluckauf-Forschungshefte*, 47, 3 (1986) : 130—135
- 4 Eicker H, Kartenberg H-J, *Gluckauf-Forschungshefte*, 47, 2 (1986) : 77—82

THE DEVELOPMENTS IN PREDICTION AND PREVENTION OF GAS-COAL-OUTBURST IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

Li Su-qin

Institute of Mechanics, Academia Sinica

Abstract The developments on techniques of prediction and prevention of gas-coal-outburst in FRG are summarized, including: knowledge of the gas-coal-outburst, improvements in measuring technique and prediction method, as well as safety precautions.

Keywords gas-coal outburst; measuring technique; prediction; safety precaution