

第十七届国际采矿安全研究会议

论 文 选 集

煤炭工业部科学技术情报研究所

一九八〇年五月

说 明

第十七届采矿安全研究会议于一九七七年十月三日至七日，在保加利亚瓦尔纳市郊“友谊疗养地”召开。二十个国家的二百一十六名代表参加了这次会议。会上十五个国家的代表团宣读了九十一篇论文。这些论文从“瓦斯含量、煤层瓦斯抽放”，“瓦斯和其它气体的检测”，“瓦斯和煤尘爆炸”，“矿井火灾”，“矿井通风和空气调节”，“炸药、爆破用具和爆破工作的安全性”，“防爆电气设备”，“矿井安全的一般问题”等八个方面，反映了当前世界一些国家在采矿安全技术研究方面的成就和动态，具有一定的参考价值。

现从九十一篇论文中选择二十九篇翻译出版，供有关方面参考。

整个翻译、校对和汇总工作由辽宁省煤炭研究所完成，重庆煤炭科学研究所和煤炭部外事局参加了翻译工作。

目 录

一、预测在岩巷(石门)中开拓瓦斯煤层的瓦斯危险(波兰).....	(1)
二、为解决采矿安全问题而预测含煤地层瓦斯含量的地质基础(苏联).....	(8)
三、在W型工作面控制瓦斯涌出的初步经验(西德).....	(15)
四、金属矿开采过程中矿井气体涌出及其有效安全措施的研究(苏联).....	(23)
五、确定煤层瓦斯危险方法的现状和展望(波兰).....	(28)
六、煤仓装、卸煤时的瓦斯泄出问题(西德).....	(35)
七、煤的瓦斯放散初速度是煤层突出危险性的一个指标(苏联).....	(43)
八、开采上、下解放层时抽放突出层瓦斯,对突出层瓦斯压力变化的研究(苏联).....	(48)
九、瓦斯检测的新发展(英国).....	(54)
十、监察矿井中一氧化碳的新的测试和计值方法(西德).....	(61)
十一、改进的携带型一氧化碳测定器(美国).....	(67)
十二、防止风巷-工作面联接处的爆炸(西德).....	(71)
十三、瓦斯爆炸灭火剂(美国).....	(75)
十四、链板运输机回空段内甲烷-空气混合物燃烧引起煤尘爆炸的危险(西德).....	(80)
十五、煤尘-空气混合体的燃烧下限、点火能量及火焰温度(美国).....	(86)
十六、水力运送石膏在灭火和维护巷道中的应用(捷克).....	(92)
十七、用于扑灭煤矿火灾的远距离封闭法(美国).....	(99)
十八、采区的巷道布置对沼气和发火危险的影响(波兰).....	(106)
十九、提高掘进巷道通风的有效性和可靠性(苏联).....	(113)
二十、掘进巷道的局部通风的安全问题(西德).....	(117)
廿一、矿井通风网路设计的科学基础(苏联).....	(123)
廿二、隔绝与调节风流的新方法(捷克).....	(128)
廿三、煤矿气象条件的改善(日本).....	(132)
廿四、根据改进的溴化锂致冷装置对矿井空气调节系统的热力学分析(苏联).....	(143)
廿五、捷克工作面用固定式空调设备(捷克).....	(146)
廿六、影响煤矿水胶炸药安全因素的考察(美国).....	(152)
廿七、用x-光摄影机对浆状炸药爆轰的观察(日本).....	(159)
廿八、根据电气安全确定矿业电网中线的合理工作制(保加利亚).....	(165)
廿九、矿井电网的数字保护(ASZK系统)(南斯拉夫).....	(169)

一、预测在岩巷(石门)中开拓 瓦斯煤层的瓦斯危险

波兰矿业研究总院——矿业安全研究所巴尔巴尔实验矿井
科兹沃夫斯基

1. 导 言

在含有瓦斯的区域掘进岩巷，会使矿山压力系统发生明显的、一定的变化，从瓦斯-动力学角度来看，这还会引起瓦斯压力梯度，而后者还是使瓦斯从工作面流入矿井的一个因素。在近似饱和的瓦斯煤层里，它将使瓦斯危险增长。在本报告中，作者只限于阐述由甲烷引起的危险，虽然这种现象自然也会涉及到煤层中的其它的气体。

波兰煤矿依据煤层的爆炸危险程度划分为：

无瓦斯煤层：是指在煤层中，甲烷含量小于 $0.02 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （纯炭）；矿井中的甲烷浓度从来（不停扇风机的情况下）也不大于 0.1% ；从试验钻孔中取出的瓦斯样经化学分析后，甲烷不多于 1% 。

一般瓦斯煤层（Ⅰ级爆炸危险）：在煤层中甲烷含量为 $0.02—2.5 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （纯炭）；如果在这样的煤层中进行开采时，以甲烷含量来确定标准；此外，把相对瓦斯涌出量不得超过 $5 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （已采煤）作为一个决定性的因素。

中等瓦斯煤层（Ⅱ级）：煤层中的甲烷含量为 $2.5—4.5 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （纯炭）；或者，开采期间相对瓦斯涌出量为 $5—10 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （已采煤）。

强度瓦斯煤层（Ⅲ级）：甲烷含量为 $4.5—8 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （纯炭）；或者，开采期间相对瓦斯涌出量为 $10—15 \text{ 米}^3 \text{CH}_4/\text{吨}$ （已采煤）。

超级瓦斯煤层（Ⅳ级）：是指超过上述指数的煤层，或者是会发生瓦斯突出和甲烷-煤的突出现象的煤层。

根据当前掌握的材料可知，在一般瓦斯煤层（即Ⅰ级爆炸危险）中揭石门时，不会增加爆炸危险。在中等瓦斯煤层（Ⅱ级）中揭石门时，也不至于增加爆炸危险；至多在工作时，要加以注意，但并没有实际意义。根据这些理由，所以在本文中仅论述Ⅲ级和Ⅳ级煤层地方，因为当这些区域里的石门临近煤层时，就增加爆炸危险。

在此必须指出，瓦斯煤层，特别是强度和超级瓦斯煤层，在波兰整个烟煤产量中，所占的比重增长很快（图1）。当然它还涉及到本文提出的另外一些问题。

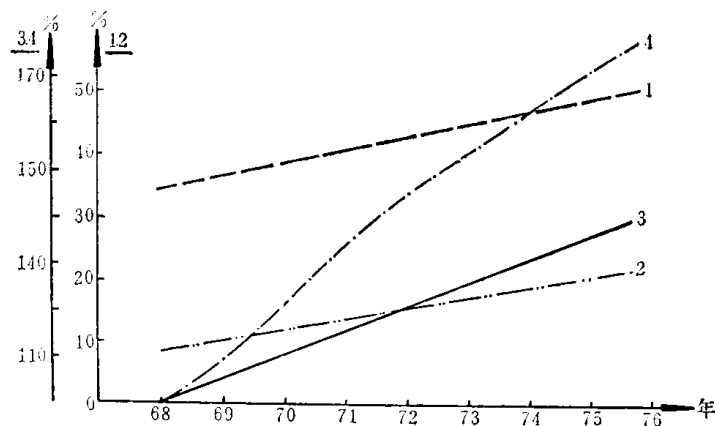


图 1 瓦斯煤层的产量占全波兰烟煤产量的比例

1. 瓦斯煤田中的产量增长比例
2. I级和II级爆炸危险的瓦斯煤层的产量比例
3. 煤产量的总的增长 (1968=100%)
4. 瓦斯煤层的产量增长 (1968=100%)

2. 被开拓的瓦斯煤层的瓦斯涌出过程

在瓦斯煤田中的矿井瓦斯含量，很明显地低于煤层中的，并取决于间隙和隔缝中所含有的游离瓦斯。当石门接近充满大量甲烷的煤层的这段距离中，石门的爆炸危险开始增长，——在矿井开采过程中，自然形成了裂缝和裂隙——同时在这段距离中，煤里开始泄出游离瓦斯和吸附瓦斯。

Rybniker煤田矿井中把开拓瓦斯煤层而使石门中的瓦斯涌出量明显增长的这段距离定为25—20米；而在（捷克）的Ostrava-Karvina煤田的矿井里，则为20—10米。

图2a是Rybniker煤田一些石门爆炸危险增长的情况。

图2b是位于Rybniker煤田附近的Ostrava-Karvina煤田中一些矿井中的爆炸危险增长情况。

表1是在图2所提到的煤层附近绝对瓦斯涌出量（米³CH₄/分钟）增长的数据。

根据分析10个例子得出的石门的爆炸危险而得到的相互关系，则见表2。图2a和2b则用图解方式来表示表2的回归方程式。

必须指出，Rybniker煤田矿井的某些石门甚至离煤层40米远，这些石门的瓦斯涌出量也在增长。

3. 预测瓦斯涌出

当穿过煤层揭石门时，为了预测绝对瓦斯涌出量，可以用下列公式：

a) 在已清除矿石的矿井中：

$$\dot{V}_M = g_P(F_W + 1F_W) + \dot{V}_M''$$

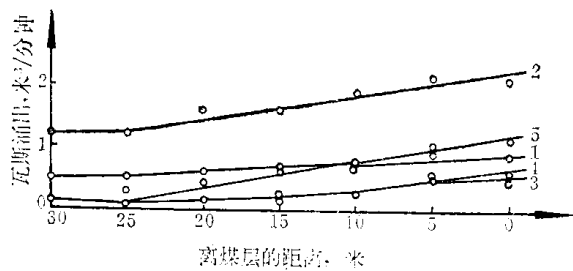


图 2a 在开拓瓦斯煤层中的石门中的爆炸危险增长情况
 线段1—5表示表 1 中所列出的Rybniker煤田井下1—5地方和表 2 中所列出的Rybniker煤田的1—5地方的相互关系
 0 是测试点

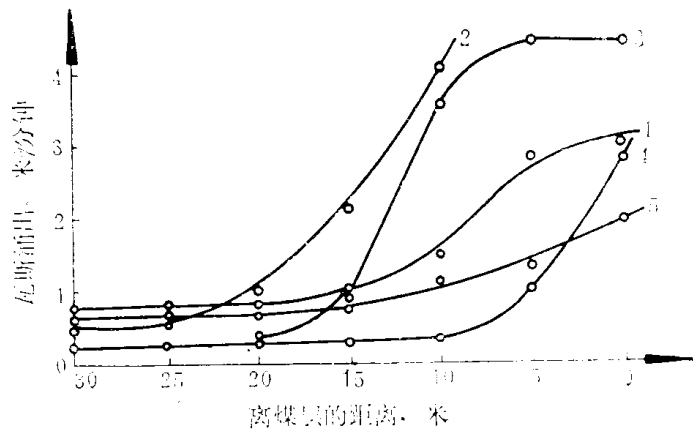


图 2b 开拓瓦斯煤层中的石门的爆炸危险的增长情况
 线段1—5表示表 1 中所列出的Ostrava-Karvina煤田井下1—5个地方和表 2 中所列出的Ostrava-Karvina煤田的1—5个地方的相互关系
 0 是测试点

b) 在有矿石的矿井中:

$$\dot{V}_M' = 1.82g_p(F_W + 1\bar{F}_W) + \dot{V}_M''$$

其中:

g_p = 采煤工作面增大的瓦斯涌出量米³CH₄/米·分钟

$\dot{V}_M$ = 绝对瓦斯涌出量米³CH₄/分钟

F_W = 开出的煤壁面积 米²

1 = 石门实际进入到煤体中的部分 米

开拓瓦斯煤层里的石门中的绝对瓦斯涌出量 (米³CH₄/分钟)

表 1

	矿 井 记 号 (风量 米³/分钟)	距 离 煤 层 的 距 离(米)													
		30		25		20		15		10		5		0	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	S—2 石门, 510水平开拓煤层 (210)	Rybniker煤田的矿井: “波兰人民共和国30年代”矿													
		0.46	0	0.46	0	0.55	0.09	0.63	0.17	0.74	0.28	0.84	0.38	0.84	0.38
2	东主巷道, 580水平开拓煤层352/1和349/1 (240)	1.2	0	1.2	0	1.6	0.4	1.6	0.4	1.9	0.7	2.16	0.96	2.11	0.91
3	东主巷道, 705水平开拓煤层, 356/1 (240)	0.1	0	0.24	0.14	0.1	0	0.1	0	0.24	0.14	0.48	0.38	0.48	0.38
4	东主巷道, 705水平开拓煤层 352/2 (240)	0.1	0	0.1	0	0.12	0.02	0.24	0.14	0.24	0.14	0.55	0.45	0.6	0.5
5	S—1 石门, 580水平开拓煤层 359/3 (220)	0.22	0	0	0	0.39	0.19	0.6	0.38	0.66	0.44	1.03	1.12	1.12	0.90

开拓瓦斯煤层里的石门中绝对瓦斯涌出量 (米³CH₄/分钟)

表 1(续前)

	矿 井 记 号 (风量 米 ³ /分钟)	距 离 煤 层 的 距 离(米)													
		30		25		20		15		10		5		0	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1409石门, 600水平 CSM 矿 (250)	Ostrava-Karvina 煤田的矿井													
		0.75	0	0.75	0	0.75	0	1.00	0.25	1.48	0.73	2.80	2.05	3.00	2.25
2	2101石门, 680水平 CSM 矿 (200)	0.50	0	0.60	0.10	1.00	0.50	2.10	1.60	4.00	3.50	X	—	—	—
3	3103石门, 800水平 CSM 矿 (350)	0.26	0	0.26	0	0.35	0.09	0.88	0.62	3.50	3.24	4.38	4.12	4.38	4.12
4	0992石门, 490水平 Paskov 矿 (187)	0.05	0	0.05	0	0.05	0	0.05	0	0.06	0.01	0.19	0.14	0.56	0.51
5	42591石门, 490水平 Paskov 矿 (280)	0.65	0	0.65	0	0.65	0	0.72	0.07	1.11	0.46	1.30	0.65	1.96	1.36

a. 绝对瓦斯涌出量 (米³CH₄/分钟)

b. 相对瓦斯涌出量的增长 (米³CH₄/分钟)

X. 距煤层 7 米的地方, 甲烷浓度达 5 %—就地停止工作 (煤层已被密闭)

用方程式来确定绝对瓦斯涌出量(y)与瓦斯煤层地区工作面的距离(x)的关系

表 2

	矿 井 记 号 (风量 米 ³ /分钟)	回 归 方 程 式	x 的 变 化 范 围	备 注
Pybniker 煤田矿井: “波兰人民共和国30年代” 矿				
1	S—2 石门, 510水平开拓 煤层 355/1 (210)	$\frac{1}{y} = 0.87677 + 1.295752 \cdot 0.9384^{25-x}$ 或者: $y = 0.8824 - 0.01646x$ $y = 0.46$	$x \leq 25$ $x > 25$	可用直线来 代替曲线
2	东主巷道, 580水平开拓 煤层 352/1和349/1 (240)	$\frac{1}{y} = 0.2202 + 0.554526 \cdot 0.9647^{25-x}$ 或者: $y = 2.228 - 0.0373x$ $y = 1.2$	$x \leq 25$ $x > 25$	曲线近似于 直 线
3	东主巷道, 705水平开拓 煤层 356/1 (240)	$\frac{1}{y} = 0.9259 + 11.3595 \cdot 0.9022^{25-x}$ $y = 0.1$ $y = 0.532 - 0.0276x$ $y = 0.1$	$x \leq 25$ $x > 25$ $x \leq 15$ $x > 15$	曲线和直线 可用直线代替
4	东主巷道, 705水平开拓 煤层 352/2 (240)	$\frac{1}{y} = 0.886 + 6.874 \cdot 0.8865^{20-x}$ $y = 0.1$ $y = 0.616 - 0.0278x$	$x \leq 20$ $x > 20$ $x \leq 15$	可用直线代 替 曲 线
5	S—1 石门, 580水平开拓 煤层 359/3 (220)	$y = 1.1748 - 0.0433x$	$x \leq 25$	

续表

	矿 井 记 号 (风量 米 ³ /分钟)	回 归 方 程 式	x 的 变 化 范 围	备 注
Ostrava-karvin 煤 田 矿 井				
1	1409石门, 600水平 CSM 矿 (250)	$\frac{1}{y-0.75} = 0.39482 + 18.9 \cdot 0.703547^{10-x}$ $y = 0.75$	$x \leq 19$ $x > 19$	
2	2101石门, 680水平 CSM 矿 (200)	$y = 0.5 - 0.00885(27-x) + 0.01259(27-x)^2$ $y = 0.5$	$x \leq 27$ $x > 27$	
3	3103石门, 800水平 CSM 矿 (350)	$\frac{1}{y-0.16} = 0.2369 + 173.3 \cdot 0.57039^{24-x}$ $y = 0.26$	$x \leq 24$ $x > 24$	
4	0992石门, 490水平 Paskov 矿 (187)	$y = 0.05 - 0.003159(11-x) +$ $+ 0.004496(11-x)^2$ $y = 0.05$	$x \leq 11$ $x > 11$	
5	42591石门, 490水平 Paskov 矿 (280)	$y = 0.65 + 0.0413(17-x) +$ $+ 0.002057(17-x)^2$ $y = 0.65$	$x \leq 17$ $x > 17$	

$\bar{F}_W$ = 在煤掘进部分上, 平均开出的煤壁面 米²/米

$\dot{V}_M''$ = 离开拓煤层超过25米的石门处的绝对瓦斯涌出量 米³CH₄/分钟

图 3 是甲烷记录仪记录的, 从中可以清楚地看到, 爆破后巷道中甲烷浓度的增大的情况。

把原理简化后定出一个公式 (实际使用时已足够有余), 证明在实际部分 1 上的 g_P 是不变的。通常, 石门穿过煤层推进的时间是很短的 (多数是超过 10 天不到 20 天的时间), 这段时间内的 g_P 的变化不大。必须指出, 采煤工作面甲烷含量的双曲线是随着开采的时间轴而沉降的。揭石门时不同类别的爆炸危险情况见图 4。由于是大略综观, 所以在间隔 2—3 (穿过煤层的掘进区域) 都没有注意到 V_M 的断裂特性, 而这种特性是从 $\dot{V}_M$ 和 $\dot{V}_M'$ 的公式中推导产生的。

在煤层中揭石门的时间 t_1 (天) 里所涌出的甲烷总量 (Q_M), 可用下面的公式来表示:

$$Q_M = Q_M' + Q_M'' + Q_M'''$$

其中:

Q_M' : 由工作面和矿井中释放出的甲烷量 米³

Q_M'' : 由矿石中释放出的甲烷量 米³

Q_M''' : 在石门里涌出的甲烷量 米³

$$Q_M = 1.44 \cdot 10^3 g_P \int_0^{t_1} (F_W + 1\bar{F}_W) dt + \frac{1.82-1}{2} g_P (F_W + 1\bar{F}_W) dt +$$

$$+ \frac{1.82-1}{2} g_P (F_W + 1\bar{F}_W) t_1 \cdot P' \cdot \bar{t}_r + 1.44 \cdot 10^3 \dot{V}_M'' \cdot t_1$$

其中:

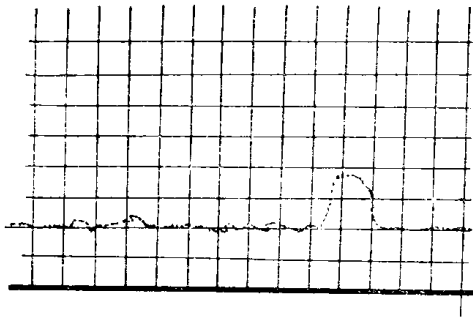


图 3 在煤层中放炮后，用甲烷记录仪记录下来的爆炸危险的增长情况

P' ——每天爆破次数

$\bar{t}_r$ ——装矿石的平均时间 分钟

在下式中， $1 = P \cdot t_1$

其中： P ：石门推进数值 米/天

利用积分，可得到：

$$Q_M = 1.44 \cdot 10^3 t_1 \left[g_P \left(F_W + \frac{\bar{F}_W P t_1}{2} \right) + \dot{V}_M'' + \frac{0.41 g_P}{1.44 \cdot 10^3} (F_W + P t_1 \bar{F}_W) P' \bar{t}_r \right]$$

在这种情况下要特别注意，在石门和煤层的附近地方，当石门和含大量瓦斯的煤层的走向一致时，石门中的绝对瓦斯涌出量也显示出增长的趋势。从目前的成果来看，只有不在到10米的距离内，甲烷危险的增长情况才会明显出现。

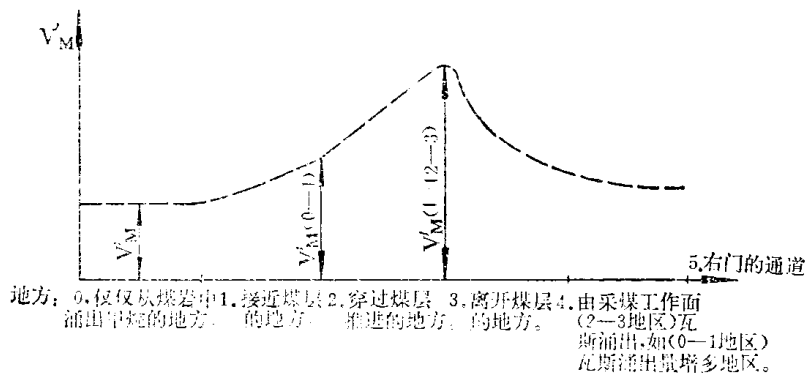


图 4 开拓瓦斯煤层里的石门中瓦斯涌出情况的图示

一些补充材料也涉及到石门中的甲烷危险的增长，而石门的走向几乎是一致的。最好能把石门中突然放出甲烷的现象和明显的瓦斯突出现象加以区别，前者很难确定它的位置并进行预报。如果在这种情况下又遇上大量瓦斯断层压力，则就更加危险了。例如有一次瓦斯突出，发生在Jankowice矿（Ⅳ级瓦斯爆炸危险的煤田）400水平的石门中。石门向Swierklany矿方向推进，当时位于Orfow 逆断层带（含水量大，断层多，地质构造遭到破坏）。图 5 就是记录下来的甲烷浓度情况和石门揭开端绝对瓦斯涌出的数据（自动甲烷测定仪，水吸管）。爆破后在48小时内共突出约18000米³瓦斯。

波兰矿井并不是只利用这种预报方法来预测确切的突出地方和规模的。

4. 结 论

作者识为，根据本报告可得出下列结论：

- 1) 开拓强度和超级瓦斯煤层时，切断煤层的石门的爆炸危险是很大的。
- 2) 计算爆炸危险时，要考虑到它增长倍数不止一倍；并要考虑到通风网络的设计

问题。

3) 离有爆炸危险增长趋势的瓦斯煤层应距25—20米。

4) 可以用本文中所给出的公式来预测穿过煤层揭石门时瓦斯涌出的方向。

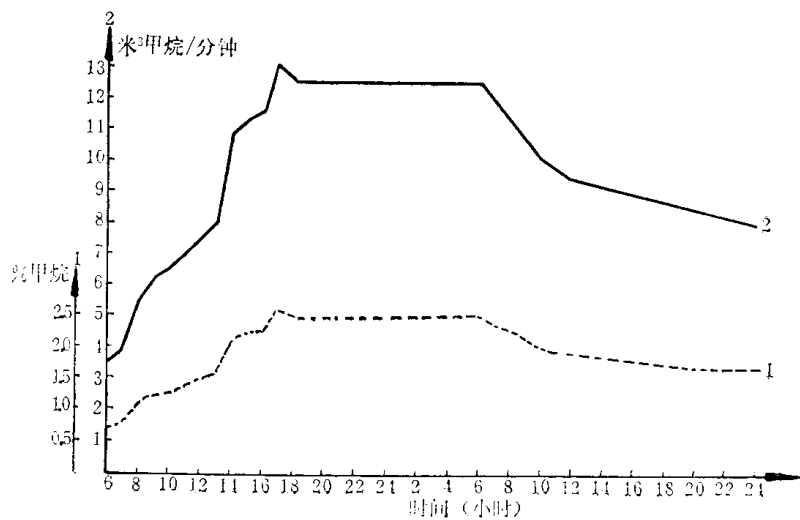


图 5 Jankowice矿400水平所调查出的石门爆炸危险情况

线1, 矿井中的甲烷浓度, %

线2, 绝对瓦斯涌出量, 米³CH₄/分钟

(杨德晓译 于良臣校)

二、为解决采矿安全问题而预测 含煤地层瓦斯含量的地质基础

苏联科学院大地物理研究所

勃·姆·吉马科夫

大型矿井的建设，深部水平的开发，以及由于使用高效率的机器和快速开采工艺，使生产工作高度强化，都导致巷道瓦斯涌出量的显著增加。这对矿井生产率及井下工作的安全性都带来不利。

在开采含瓦斯的有用矿物时，地质工作在保障安全方面具有重大的意义。地质工作的任务包括：向设计部门提供有关预计的瓦斯涌出形式、涌出规模的原始资料，使在设计矿井的时候，就能及早考虑与瓦斯涌出作斗争的措施。在没有关于煤层瓦斯含量及预测巷道瓦斯涌出量的地质资料时，是不可能设计新井及改建老井的。预计的矿井瓦斯涌出量，决定着主要通风巷道的断面，决定着主要扇风机的参数，决定是否必须对矿井瓦斯涌出进行管理和控制，影响着开采方法、通风系统、煤层瓦斯抽放、顶板管理方法及煤层群的开采顺序等的选择。

预测矿井瓦斯涌出量的矿山统计法（这一方法的基础是：研究巷道相对瓦斯涌出量的变化及瓦斯梯度），它只适用于在采矿井的井田。因此，对未来矿井瓦斯涌出量的预测，只有以煤田勘探资料为依据，根据煤层瓦斯含量，用标准的方法计算新建井及根本改建矿井的瓦斯涌出量。

查明各类煤田瓦斯含量的规律性和特点是必要的；为科学地预测巷道瓦斯涌出量、制定与瓦斯作斗争的措施、计算矿井通风和瓦斯抽放，经常需用开发及勘探中井田的瓦斯含量资料，这些都决定了地勘中确定煤层瓦斯含量的迫切性。

矿井瓦斯涌出的规模及合理选择与其作斗争的措施，都取决于煤田的瓦斯含量。在一些矿区和煤田的范围内，瓦斯的分布和储量，在不同的水平是有明显的区别。这是由每个井田、每个煤田的地质条件的特点所决定的，是由不同变质程度的煤层的瓦斯含量随深度而变化的不同特点所决定的。

在现今的采矿工业发展水平，随着开采工作向深部发展，地质勘探的任务发生了根本的变化。在必须确定矿床的外形尺寸的同时，愈来愈需要弄清开采工作的矿山地质条件，首先是与安全有关的条件。这当中，研究煤田和其它有用矿物的瓦斯含量就特别重要。

地质勘探资料必须：

——指出在区域地质发展过程中，含煤地层瓦斯形成和迁徙的基本规律；

——说明不同地质条件的煤矿区瓦斯分布的区域性和局部性，它们共同的和特殊的规律性；

——确定现今不同开采深度的煤层瓦斯含量，不同变质程度煤田的深水平的瓦斯含量的特点。

使采煤工作复杂化的含煤地层的瓦斯，主要是沼气及其伴生物——重烃气体、氢和二氧化碳。煤田瓦斯的主要部分，生成于煤的变质过程。并且，不同变质阶段的瓦斯的相应组分是不同的。

为了安全开采深水平的煤田，矿井大气学的基本任务是与大量的沼气涌出作斗争。例如，在沃尔库特的一些煤矿，昼夜供风量达200000吨以上，为煤产量的五倍多。这一煤田的大部分矿井，昼夜沼气涌出量超过七万立方米，相对的沼气涌出量达50—100米³/吨煤。与沼气相比，从含煤地层涌出的沼气伴生物重烃，只有很小的意义。但是，在煤矿的掘巷工作中，应当注意在裂隙性岩石中遇到局部积聚含碳氢类气体的石油物质的可能，后者可能成为燃烧和爆炸的原因。含沼气煤层和岩石中的二氧化碳，不会给矿井大气的成份带来明显的影响，因为它在煤中的含量不超过1—3米³/吨。由于必须根据沼气的情况对巷道进行强烈的通风，使与二氧化碳作斗争的问题、缺氧的问题就自动地消失了。而只是在没有沼气的矿井（在无沼气带开采烟煤及开采超无烟煤），须要按氧气消耗量及按二氧化碳的发生量来计算通风参数。开采不含沼气的高变质无烟煤时，二氧化碳的绝对涌出量可达15000米³/昼夜。对采矿工作的安全来说，游离的氢可能有较大的意义，对它的生成尚未足够弄清楚。地质勘查所得的关于煤层中氢的含量与分布的资料，是互相矛盾的。

煤层中的沼气是井下工作的主要危险，而对含瓦斯煤田进行综合开采时，它又可成为宝贵的矿产。煤田的沼气储量计有数千亿立方米，在整个矿区——可达万亿立方米，并且随着煤层的增多和煤田面积的增大而增加。

煤田中一半以上的沼气是集中在煤层之中。所有煤层的总厚度一般为含煤地层厚度的2—5%。煤层在某一水平的沼气含量是煤田自然排放瓦斯深度的函数（它的指标是煤层瓦斯风化带的深度）。在沼气带中，煤层的原始瓦斯含量随深度而有规律地增长，煤层的原始瓦斯含量与这一增长的速度成函数关系。查明这些规律是矿井地质科学的主要任务之一，因为煤田的开采深度在不断地增加。

煤层的原始瓦斯含量，主要是用密封钻头及集气式岩芯采取器直接测定的。用这些钻头取样的工艺，在“地勘中预测煤层瓦斯含量临时规范”（“矿床”出版社，莫斯科1966年版）一书中已有叙述。按照这一方法，对所勘探煤田的煤层进行取样分析，一个矿区的试样数目达几千。

矿井地质科学的成就，地勘中所获得的资料，为现今预测瓦斯含量，为确定煤层瓦斯含量随深度的增长规律，为指出各煤田、各矿区及各类型煤的瓦斯含量随深度变化规律的共性和特性提供了方法和地质的基础。煤层瓦斯含量及相应的巷道瓦斯涌出量的变化趋向及变化幅度，是与煤的变质程度有关，与瓦斯带的参数和特点有关，与地质条件有关。

由格、德、李金教授提出的关于煤层瓦斯的带状分布的观点，是煤田瓦斯含量学说的基础。对这一地质现象的作用作怎样的评价都是不会过高的。瓦斯的带状分布，是预测煤层瓦斯含量及巷道瓦斯涌出量的第一把钥匙。

在二氧化碳-沼气带，实际上不存在沼气。这一带一般被看作是煤系地层的沼气完全排放带（水平）。在瓦斯风化带（在沼气-氮气带及氮气-沼气带），煤层中的沼气含量不大，一般不超过1.0—1.5米³/吨——长焰煤；2—3米³/吨——气煤；3—4米³/吨——肥焦煤；4—6

米³/吨——瘦煤和无烟煤。

弄清瓦斯风化带煤层的沼气含量的非常小的变化，是没有实际价值的，因为这些变化经常带有偶然性、而且比测定误差小很多。在这种情况下，确定和预测瓦斯风化带（包括二氧化碳-沼气带和氮气-沼气带）的厚度才有实际的意义。在这带的范围内，巷道瓦斯涌出量不超过一级瓦斯矿。只有当巷道进入沼气带时，从沼气带的边缘起算，巷道的相对瓦斯涌出量才与开采深度成正比。

现代的瓦斯风化带深度是煤田长期地质进程的结果，是下述一系列地质因素综合作用的结果：

- 含煤地层自由排瓦斯时间的长短，这一时间愈长，瓦斯风化带的厚度就愈大；
- 地层错动程度，错动程度愈高，煤层排瓦斯的不均匀性和排放深度就愈大；
- 剥蚀过程，它使含煤地层无沼气的范围减小或局部消灭；
- 复盖层（在一些地区还有多年的冻土层），它阻碍了瓦斯风化带的进一步扩大。

上述因素决定了瓦斯风化带的不同厚度，因而使沼气带的开始深度不同。在沼气带中，煤层的沼气含量是有规律地增长的。煤层原始瓦斯含量和巷道瓦斯涌出量在沼气带增长的规律，沼气带表面的形状和深度，是预测矿井瓦斯涌出量和煤层瓦斯含量的必要参数。

不同矿区煤层瓦斯风化带的厚度，有很大的变化范围。比如，在顿巴斯它为从100—200米到500—600米，而基捷洛夫斯克为600—800米，在庫兹巴斯为150—300米，在别卓尔斯克矿区，瓦斯风化带的厚度只有50—150米，很少为200米。有些地区，沼气带从复盖表土后即开始。

如上面已经指出的那样，正是在沼气带，煤层的沼气含量才随埋藏深度的增加而有规律地很快增长。并且，无烟煤与烟煤有不同的变化特点。

在顿巴斯、别卓尔斯克、卡拉干达及其它煤田取样试验的结果表明，在所有的烟煤煤田，当深度小于1200—1500米时，煤层沼气含量的变化，具有共同的基本规律。在沼气带，煤层原始沼气含量与其埋藏深度（由沼气带边界算起的垂深）之间存在曲线的关系（近乎双曲线）。并且，从10—30米到70—100米，增长的梯度也不断增大。从沼气带边缘起算400—600米深时，沼气含量按双曲线规律有最快的增长速度。之后，煤层沼气含量随深度的增长速度就明显下降（慢速增长区为800—1000米），深度为800—1300米时，每100米垂深增长的梯度不超过1米³/吨煤，并逐渐减少到0.02米³/吨。因为变化量非常小（2—3%以下），就可以把这些深度的区域，看成是煤层沼气含量的实际上的稳定区（或趋于稳定的区域）。

至于烟煤煤田更深的水平（1500米以下）煤层瓦斯含量将是怎样？暂时还不知道。由于缺乏直接测定的资料，就限制了进一步的推断。文献中也曾有关于在1000—1500米深时所有牌号的烟煤煤层沼气含量可能有下降的推断。在东顿巴斯200—2000米深的范围内，对煤的潜在沼气含量所作的试验基础上，我们得出结论，认为由焦煤到瘦煤煤层的沼气含量，在1800—2000米的深度仍是增长的。因此，在这样的深度建设矿井时，不能期待煤层的瓦斯含量会有明显的减少。

煤层沼气含量增长的速度（以及与沼气带深度有关的增长开始点），在不同的矿区也有所不同，因为各个区域烟煤的变质程度有所不同，各井田的构造也有局部的变化。顿巴斯和别卓尔斯克煤田煤层沼气含量随深度而增长的例子列于表（1）中。从这表中可以看到，沼气带中煤层沼气含量增长的速度，随煤变质程度的提高而增快。从长焰煤（不超过6—8米³/吨）

到变质程度最高的烟煤(35—40米³/吨), 而到低变质无烟煤达最大值(40—45米³/吨)。这一规律性成为预测烟煤瓦斯含量的第二把地质钥匙。

不同矿区的气候和地热条件, 对1000—1300米深的等变质程度煤的沼气含量的增长范围有影响。如在别卓尔斯克煤田, 肥煤的沼气含量可达35米³/吨, 而在顿巴斯, 一般不超过20米³/吨。在别卓尔斯克煤田, 1000米深处岩石的温度为14—18℃, 而在顿巴斯为34—40℃。

别卓尔斯克与顿巴斯矿区沼气带煤层原始沼气含量增长的对比

表(1)

煤田、井田及煤层组	变质程度和煤的 牌号	煤层沼气含量 厘米 ³ /克(米 ³ /吨) 挥发分					
		100	200	300	400	600	800
1	2	3	4	5	6	7	8
别卓尔斯克矿区							
沃尔库茨克煤田、西翼, 向斜	Ш ₃ (Ж ₁₀)	9—12	17—20	20—24	23—27	27—32	23—35
沃尔库茨克煤田、东翼, 向斜	Ш ₁₋₂ (Ж ₁₀)	8—10	13—15	16—19	18—22	21—26	24—29
乌辛斯克煤田	Ш ₂₋₃ (Ж ₁₀)	13—16	17—21	19—23	21—25	24—28	
沃尔加绍尔斯克煤田	П ₃ —Ш ₁ (Ж ₁₀)	9—11	12—14	14—16	15—18	20—23	
谢金斯克煤田	П ₁ (Г)	6—7	8—19	9—10			
英琴斯克煤田	I(Д)	3—4	4—5	—	5—6	6—7	
顿巴斯矿区							
米尔列罗夫斯基区	(Д)	2—3	3—4	—	4—5	5—6	6—7
“西顿巴斯”矿	(Г ₀)	4—5	6—7	8—9	9—10	—	10—12
“北伊兹瓦林斯克”一矿和“南—西”一矿	(К, Ж)	5—6	7—9	10—11	12—13	14—15	16—18
贝斯特梁斯克向斜	(ОС)	11—13	15—17	18—20	19—21	20—22	22—24
“南卡明斯克”一矿	(Т-ПА)	9—11	13—15	16—18	19—21	22—24	25—28
红色顿巴斯向斜	(ПА-10/А)	20—24	26—29	28—31	29—33	30—34	33—37

从瓦斯含量的角度看, 各类煤中对无烟煤的研究最少。在瓦斯分布规律方面, 无烟煤与烟煤不同, 前者有自己的特点。

假如说, 所有烟煤的沼气含量随深度而有规律地变化的速度不同, 但方向性是相同的, 则不同变质程度的无烟煤煤层, 不但瓦斯含量十分不同, 不但瓦斯含量随深度而变化的速度不同, 而且它们的变化方向也是不同的, 有的增加, 有的减少。

现在, 我们有一定的把握来讨论煤层沼气含量与它们变质程度之间的关系。所有无烟煤在瓦斯含量方面的规律性是有差异的, 根据这不同的规律性, 无烟煤可分成三类:

1) 半无烟煤和低变质无烟煤(ПА, 10/А), 其挥发分 V^r 为200—300毫升/克, 按比电阻对数的变质指数 $\lg\rho$ 为0.8到5.0—4.5;

2) 中变质无烟煤(10/А—11/А), 其挥发分为200—120毫升/克, $\lg\rho$ 由5.0—4.5到2.5—2.0;

3) 超无烟煤—高变质无烟煤(12/А, 13/А, 14/А), 其挥发分为 $V^r < 120$ 毫升/克, $\lg\rho < 2.5—2.0$ 。

第一类无烟煤在瓦斯含量方面接近于烟煤。这类无烟煤层的瓦斯分布服从于烟煤的规律性。并且, 正是第一类无烟煤层具有所有煤种中最大的沼气含量(达40—45米³/吨)和最大的增长速度。距沼气带边界仅200米深的地方, 低变质无烟煤的沼气含量即可达25—30米³/

吨。第一类无烟煤煤层普遍赋存于顿巴斯的下面各区：齐斯恰科沃-斯涅日年斯基区和红色顿涅茨区。在红色顿涅茨向斜的沼气含量最高，随深度的增长速度也很大，在300—600米深处，沼气含量即达35—40米³/吨。在评价第一类无烟煤层的瓦斯含量时，可以使用已广泛应用的烟煤规律性。这就使预测的工作很容易进行。

第二类无烟煤的瓦斯含量与深度的关系是复杂的，非常独特的。这些煤层的瓦斯含量与埋藏深度的关系较少，而与其变质程度有较大的函数关系。煤层在沼气带的沼气含量，呈曲线趋势增长（速度愈来愈低，直到某一极限）。10/A类无烟煤为30—35米³/吨，它的 $\lg \rho = 4.5 - 3.0$ ，而变质程度较高的11/A无烟煤，沼气含量为20—25米³/吨，它的 $\lg \rho$ 约为3.0，即与变质程度呈反比。之后，变质程度随着深度（基本上是地层的垂深，而较少是煤层层面意义上的深度）而增高，沼气含量开始下降，以至达到极限值5—7米³/吨，这时 $\rho = 2.4 - 2.7$ 。

在顿巴斯，第二类无烟煤广泛分布于：齐斯恰科沃-斯涅日年斯基区，包科沃-赫鲁斯塔利斯基区，古柯沃-兹维尔斯基区，苏李诺-萨德金斯基区及托顿斯基区。

假如对烟煤，半无烟煤及低变质无烟煤来说，变质程度的提高会导至煤层瓦斯含量的增大，则对中变质无烟煤来说，其规律性却与之相反，沼气含量随其变质程度的提高而下降。看来，这种现象的原因基于：煤的结构在变质过程中发生了大量的变化，使煤的性质发生了深刻的、质的突变。

第三类无烟煤（超无烟煤）与其它各种煤的不同点是沼气含量很少，在现今研究工作所及的深度范围内，不存在任何规律性的增长，没有发现超无烟煤的沼气含量有增长的趋势（不超过2—3米³/吨）。对此尚未作出必要的解释。超无烟煤极少的瓦斯含量的本质，首先不只在瓦斯形成的过程本身，而还在于高炭物质内部微孔结构的物理-化学性质，作为聚集体的性质，在于生成无烟煤的深部（12—16公里）产生瓦斯区的热动力学条件，还在于超无烟煤田地质发展史的特殊性。

超无烟煤赋存于齐斯恰科沃-斯涅日年斯基区、多尔然斯柯-罗温年茨克区，克柯沃-兹维尔斯基区，苏面诺-萨德金斯基区和沙赫琴斯柯-涅斯维塔叶夫斯基区等。开采高变质无烟煤的矿井，不论其开采深度多大（“深部”矿开采深度为900米），经常是属于无沼气危险的矿井。这些矿井的特点是涌出一定量的二氧化碳。相对的二氧化碳涌出量达18—20米³/吨。二氧化碳来源于开采层、围岩、巷道支架、采空区及矿井水。超无烟煤的原始二氧化碳含量平均为2—3米³/吨，并且不超过5—7米³/吨。

生产矿井巷道的沼气涌出量，按无烟煤层已定的沼气含量规律性而变化。毫无疑问，这就便于设计超无烟煤田矿井时的预测瓦斯含量的任务。开采这些矿井时，深部水平巷道的瓦斯涌出量将是非常小的，并且不会给安全工作带来明显的影响。

开采中变质和高变质无烟煤的矿井，随着开采工作向深部发展，巷道的沼气涌出量（与煤层沼气含量的变化相适应）开始将是上升，但从某一深度开始将会下降，而在超无烟煤区，沼气涌出量几乎将下降到零。

按煤层沼气含量而测予矿井瓦斯涌出量的方法，其基础是利用巷道的相对沼气涌出量与煤层原始沼气含量之间的关系，与地质及开采技术因素的关系。方法的实质在于按涌出来源而计算涌向巷道的沼气。预测是针对开采顺序中的每一个开采层而进行的。

矿井某层巷道总的相对沼气涌出量（米³/吨煤），由下述各项组成：

- 回采区的平均相对沼气涌出量,
- 老采空区的相对沼气涌出量,
- 掘进巷道相对沼气涌出量。

每一个采区的相对沼气涌出量 (米³/吨煤), 又由开采层的沼气涌出量, 上、下邻近层的沼气涌出量及围岩的涌出量等组成。

本文不准备叙述各种相对沼气涌出量的计算公式和计算程序, 这些已在有关煤矿沼气涌出量预测的资料及手册中有叙述。在本文中我们想指出的是: 按地勘资料来预测巷道沼气涌出量的可靠性及这一方法的基础的客观性。

从这一目的出发, 在格、德、李金教授的指导下, 对矿井瓦斯涌出的预测资料与实际涌出资料作了综合的比较, 其结果已在“在煤层沼气含量的基础上, 用较准确的方法确定矿井相对瓦斯涌出量”一书及有关的书中公布。

为了与实际的瓦斯涌出资料作客观的比较, 在煤层瓦斯含量基础上计算的沼气涌出量, 是对不同水平的各个煤层的每个回采面和在很大深度范围的各个采区分别进行计算的, 并且对别卓尔斯克矿区的沃尔库茨克煤田的整体也作了计算。回采工作面的实际瓦斯涌出量是直接测定的, 并且是选择了位于完整煤区的工作面, 以防止沼气的漏散。

全矿井和各工作面的实测和计算的沼气涌出量资料的对比列于表(2)中。从表中我们可以看到, 它们是很接近的。

沃尔库茨克煤田按煤层原始沼气含量预算的瓦斯涌出量与按不同水平各煤层实测的
矿井瓦斯涌出量和回采面瓦斯涌出量的对比

表(2)

矿 井, 工 作 面	回采工作 水平的加 数平均绝 对标高, 米	实际沼气 涌出量 米 ³ /吨煤	计算的沼气涌出量米 ³ /吨煤		实际与计算的误差%	
			按“手册”	改进后的方法	按“手册”	改进后的方法
1	2	3	4	5	6	7
一矿, -510米水平四层北九工作面		61.0	71.0	63.0	16.5	3.3
一矿, 全矿	-282	44.9	55.5	47.0	23.0	4.7
“	-297	44.0	54.0	43.0	22.0	2.3
“	-318	43.0	50.0	43.5	17.0	1.5
“	-329	39.3	58.5	47.0	48.0	20.0
“	-333	44.5	57.0	48.0	28.0	7.9
五矿, -430米水平四煤层工作面		45.0	53.0	42.0	23.0	6.6
五矿, 全矿	-340	35.1	29.8	31.4	15.0	10.5
四十矿, 全矿	-313	30.9	35.0	31.5	13.3	2.0
“	-328	32.8	43.5	41.0	32.0	25.0
“	-354	42.9	52.6	45.0	22.0	4.7
“	-369	40.3	50.9	48.5	25.0	20.0
十八矿, -340米水平厚层上分层南一工 作面十八矿, 全矿	-320	33.0	31.5	31.7	4.0	3.3
“	-238	23.6	30.0	28.0	25.0	18.5
“	-304	41.0	37.0	40.0	9.8	2.5
“	-322	29.3	21.0	23.4	29.0	20.0
“	-350	35.7	38.0	33.2	35.	7.0
二十五矿, -270米水平三层北二工作面	-208	14.2	15.8	14.0	11.3	2.1
二十五矿, -450米水平三层北一工作面	-300	21.0	26.0	22.0	27.0	4.8
二十九矿, -420米水平三层西工作面		14.5	19.7	13.4	16.5	3.3

生产矿井巷道瓦斯涌出量的计算是严格地按已颁布的“苏联煤矿沼气涌出量预测临时手册”（1965年莫斯科版）进行的（第一方案）。从这些计算以及矿井瓦斯平衡、上下邻近层瓦斯排放带的大小的实际资料可以看到，对别卓尔斯克矿区（看来对其它矿区也一样）的条件来说，有必要对计算方法的某些环节作些改进。为此进行了一些专门的研究，其结果已在资料中有详细的叙述。研究首先表明，采出煤中的残余瓦斯含量与其粒度有很大的关系，并且变化的范围很大。对肥煤来说为2—10米³/吨。因此，这一数值应当根据实际资料来确定，而不是按规程来确定。上邻近层开采后，对下部一些煤层中瓦斯压力分布情况所作的研究表明，下邻近层排放瓦斯的厚度应当定为60米，而不是象手册中所定的35米。与此同时，对沃尔库茨克煤田来说，计算下部采动后的影响区的系数应当减少到40，而不是以前所规定的60。

考虑到某些计算环节的改进，提出了在煤层瓦斯含量基础上预测巷道沼气涌出量计算方法的第二方案，也就是主要的方案（表2）。

从所作的对比中可以得出结论，按煤层瓦斯含量预测矿井沼气涌出量的方法的基础是对的，而所提出的根据具体条件准确计算采落煤块中的残余瓦斯含量、上下煤层的采动影响范围的建议，将提高预测工作的准确性。

根据表（2）中的对比资料，可以认为，按地勘中提供的煤层瓦斯含量资料预测矿井沼气涌出量的方法是可靠的。这方法在别卓尔茨克矿区得到了广泛的应用和经受了全面的考验。按照煤层的沼气含量，预测了沃尔库茨克的九个矿井、英琴斯克的二个矿井的巷道沼气涌出量。按地质勘探资料所预测的巷道瓦斯涌出量，已成为别卓尔斯克矿区沃尔加绍尔斯克煤田新井设计的基础。

巷道瓦斯涌出量的实测资料与基于煤层瓦斯含量而计算的资料的很好一致性，证明了地质预测的可靠性。

在实际应用时，科学研究和地勘工作的成果，可作为生产单位和设计单位计算矿井瓦斯涌出量的原始资料，作为井田瓦斯含量的结论性材料，作为科学-生产报告的总结。它们包括：主要煤层的沼气含量预测图，地质剖面图，计算公式和图表（便于设计单位用电子计算机计算瓦斯涌出量）。在这些图中，表明了沿层面和不同深度的等沼气含量线。

各种变质程度无烟煤与烟煤的瓦斯含量随深度而变化的规律的严重不一致，就决定了用不同的方法去预测井田的瓦斯含量、预测不同地质地热及气候条件下的巷道瓦斯涌出量，决定了保证采矿工作安全的不同途径和可能。所有这些，都提高了地质部门在解决这一问题上的责任和作用（特别是在深度很大的情况下）。

（宋士钊 译）