

煤、油共生矿井中光学瓦斯检定器的

应用及安全指标的确定

《煤、油共生安全问题研究课题》材料之二

在煤矿中广泛使用的光学瓦斯检定器是利用光的干涉及折射原理检测甲烷的仪器，但当矿井气流中含有多种可燃组分时，所获得的读数就不代表真实浓度，而是被测混合气体对光干涉及折射的综合影响。因此这个代表着综合影响的数值与安全性之间的关系是需要弄清的问题。

(一) 可燃气体的性质及爆炸试验

在油层下采煤，如何确定井下空气中可燃气体浓度的安全指标，这是个重要问题。根据化验分析资料，下石节平峒、杏树坪斜井的气体均为饱和碳氢化合物的烷烃类，但各组分之间的比例关系及所含浓度，各矿井随时间和地点不同而有变化（表1）。

下石节平峒，杏树坪斜井可燃气体分析结果

表 1

日 期	组 分 别 采样地点	甲 烷 乙 烷 丙 烷 异 丁 烷 正 丁 烷 异 戊 烷 正 戊 烷 CO ₂ N ₂								
		甲 烷	乙 烷	丙 烷	异 丁 烷	正 丁 烷	异 戊 烷	正 戊 烷	CO ₂	N ₂
73.8	下石节平峒 + 1230大巷	13.83	6.03	24.85	11.54	20.37	7.5	6.09		
73.4		14.76	3.13	27.76	10.64	22.99	9.8	7.35	3.39	
		58.05	6.76	19.28	4.11	5.82	1.09	0.96	1.86	1.74
	杏树坪斜井 27* 钻孔	83.53	0.90	6.55	2.06	3.72	0.74	0.84	0.55	1.09
	杏树坪斜井 29* 钻孔	86.05	0.92	6.44	1.48	2.59	0.43	0.32	0.45	1.30

烷烃类气体，按其分子量的增大，其爆炸危险性也逐步增大。

几种烷烃类气体爆炸下限

与分子量的关系

表 2

名 称	甲 烷	乙 烷	丙 烷	丁 烷	戊 烷
分 子 量	16.04	30.07	44.09	58.12	72.15
爆炸下限%	5.0	3.12	2.17	1.55	1.44

由表2可知，就这几种气体来说，甲烷的爆炸下限最高，但均为单一气体，如何确定混合气体的爆炸下限，进行了如下的研究：取杏树坪下井 27* 钻孔气样，在小型爆炸缸中用细铜丝短路进行20多次引爆试验，试验结果及条件是：

油工业开采价值。但从采煤来看，尤其是直罗统油层直接在煤层顶板之上，在采煤过程中，顶板冒落，油层破裂，原油下泄，给采煤会带来一定的影响。因此，在煤油共生矿井采煤安全问题将是一个值得研究的课题。

同时，底板三叠系亦有油层赋存，对岩石巷道布置及施工、生产也会带来一定的不利因素，所以，对三叠系油层的勘探将是今后生产中必须注意的问题。

试验地点气温 21℃~28℃
引爆电源 380V 熔断三根细铜丝
观察仪器 光学瓦斯检定器
爆炸下限 5.48%

与此同时，我们对27#气样进行爆炸下限理论计算：

$$L = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_n}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \frac{a_3}{A_3} + \cdots + \frac{a_n}{A_n}}$$

(1)

式中 L为混合气体的爆炸下限，%
a₁、a₂、a₃、……a_n为各可燃气体组分含量，%
A₁、A₂、A₃、A_n为各气体的爆炸下限。%

将27#钻孔气样分析结果代入（1）式中

$$L_{27\#} = \frac{98.34}{\frac{83.53}{5} + \frac{0.9}{3.12} + \frac{6.55}{2.17} + \frac{5.78}{1.55} + \frac{1.58}{1.44}} = 4.02\%$$

从表二可以看出，甲烷爆炸下限为5%，27#气样爆炸试验用光学瓦斯检定器测定爆炸下限为5.48%，而理论计算结果为4.02%，我们从这些数据中发现：其一，混合气体的爆炸下限按理论应该比单独甲烷的爆炸下限低，但试验结果却比甲烷高；其二，计算值和引爆试验值相差较大。根据这一反常现象，我们又进行了300多次配气试验和光学瓦斯检定器读数对比试验，经分析研究，发现检定器读数并非气样的真实浓度，检定器读数比气样的真实浓度高，其相互关系如表3所示。配气试验是将钻孔气体作为100%浓度，配入已知体积的空气，然后用光学瓦斯检定器读数而得其换算系数= $\frac{\text{配气浓度}}{\text{检定器读数}}$ 。

杏树坪6#气样配气与检定器读数对比试验结果 表 3

读数 % 配气浓度 %	检 定 器 读 数 %					换算系数
	1	2	3	4	平均	
5.0	8.16	9.04	9.08	8.82	8.78	0.55
2.5	4.16	4.53	4.50	4.48	4.42	0.55
1.25	2.13	2.30	2.28	2.26	2.24	0.55
0.65	1.12	1.2	1.18	1.18	1.17	0.55
0.33	0.62	0.64	0.62	0.60	0.62	0.53

由于条件所限，配气试验尚不能充分证明光学瓦斯检定器的读数比真实浓度偏高的实际情况，为此，又在实验室条件下进行气相色谱和检定器读数对比试验，其结果如表4。

气相色谱和光学瓦斯检定器读数的对比试验 表 4

日期	取 样 地 点	检定器 读数%	气 体 组 分 %							
			甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	己 烷	庚 烷	辛 烷
77.1	杏树坪29#钻孔	8.18	5.64	0.03	0.17	0.1	0.029	0.006	—	—
77.1	下石节南二风巷1#钻孔	20.0	10.51	0.095	0.625	0.5	0.07	0.0725	0.0225	0.0175

上述试验结果，只揭露了读数与真实浓度之间矛盾的普遍存在，但必须弄清支配这些矛盾的内在规律，从以下的学习和研究中我们逐步取得了解释和认识。

(二) 烷烃类混合气体的检定读数和真实浓度的关系

光学瓦斯检定器的刻度是依照甲烷的光折射和光干涉原理制成的，其读数对甲烷是1:1的关系，勿需换算。但烷烃类混合气体的光折射率与纯甲烷不同。从检定器说明书及光学瓦斯检定器的校检及其它有关资料的学习中，认识到，当被测气体不是纯甲烷时、必须根据被测气体的光折射率求出换算系数，再求得真实浓度。例如，用检定器测CO₂时，当其读数为1%时，其真实浓度为0.95%，这种检定器读数与真实浓度的换算系数可用下式求得：

换算系数 = $\frac{\text{甲烷的光折射率} - \text{空气的光折射率}}{\text{被测气体光折射率} - \text{空气的光折射率}}$ (2)

CO₂的换算系数 = $\frac{1.000411 - 1.000272}{1.000418 - 1.000272} = 0.95$

甲烷的光折射率为：1.000411 (760mmHg, 20°C)
空气的光折射率为：1.000272 (760mmHg, 20°C)
CO₂的光折射率为：1.000418 (760mmHg, 20°C)
不难看出0.95为检定器对CO₂的换算系数。若测得CO₂的检定器读数为0.45%，则真实浓度为：

$0.45\% \times 0.95 = 0.43\%$

应当指出，这个求换算系数的计算式也适用于烷烃类气体，但必须有该混合气体的光折射率，见表5。

烷烃类气体的光折射率 表 5

名 称	甲 烷	乙 烷	丙 烷	丁 烷	戊 烷	已 烷
光折射率	1.000411	1.000753	1.001027	1.001294	1.001568	1.001892

从上表的烷烃类气体光折射率可按式求得被测混合气体光折射率：

$$n_m = \frac{C_1 n_1 + C_2 n_2 + C_3 n_3 + \dots + C_n n_n}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}$$
 (3)

式中：n_m为混合气体的光折射率，
C₁、C₂、C₃.....C_n为气体组分含量，%
n₁、n₂、n₃.....n_n为各气体光折射率。
以杏树坪29#钻孔气样为例，其光折射率计算如下：
将气体各组分的折射率及含量代入(3)式

$$n_{29\#} = \frac{5.64 \times 1.000411 + 0.03 \times 1.000753 + 0.17 \times 1.001027 + 0.1 \times 1.001294 + 0.029 \times 1.001568 + 0.006 \times 1.001892}{5.64 + 0.03 + 0.17 + 0.1 + 0.029 + 0.006}$$

$$= \frac{5.97770144}{5.975} = 1.000452$$

$$\text{换算系数}_{29^*} = \frac{1.000411 - 1.000272}{1.000452 - 1.000272} = 0.772$$

由换算系数就可以求出该混合气体的实际浓度。若测得29*钻孔气样的检定器读数为1%时，则其实际浓度为1×0.772%。

为便于计算出各种气体的安全系数，我们把换算系数的倒数称为光折射指示率。它的含义是表示某一被测气体的实际浓度为1%时，在光学瓦斯检定器上的读数为：

$$\text{被测气体的光折射指示率} = \frac{1}{\text{被测气体换算系数}}$$

$$\text{杏树坪}_{29^*}\text{钻孔气样的光折射指示率} = \frac{1}{0.772} = 1.28$$

烷烃类气体的光折射率见表6。

烷烃类气体的光折射指示率 表 6

名 称	甲烷	乙 烷	丙 烷	丁 烷	戊 烷	己 烷
指示率	1	3.38	5.43	7.35	9.32	11.6

(三) 安全指标的确定

煤油共生矿井，井下可燃气体的浓度不一、组分不一，随时间、地点等条件的不同而变化，为确保煤矿安全生产，必须确定适合于不同油气显示矿井的安全指标。“煤矿安全生产试行规程”中对甲烷允许浓度的各项规定都具有3—5倍的安全系数，因此、对煤油共生矿井的安全指标也应符合“煤矿安全生产试行规程”对气体浓度的规定。

通过上述试验和计算，烷烃混合气体爆炸下限的真实浓度虽然比甲烷低，但试验证明用光学瓦斯检定器检测时，其读数均比甲烷爆炸下限高（见表3），因此在煤油共生矿井对任何烷烃类气体按光学瓦斯检定器读数1%管理，都具有5—13倍的安全系数（见表7）。

以检定器读数为1%与达到爆炸下限时的安全系数 表 7

名 称	甲烷	乙 烷	丙 烷	丁 烷	戊 烷
达到爆炸下限时的检定器读数	5 %	10.54 %	11.78 %	11.39 %	13.42 %
与读数为1 %的安全系数	5	10	11	11	13

对下石节，杏树坪两矿气样的分析计算，其安全系数均在5倍以上。

下石节、杏树坪气样计算参数及安全系数 表 8

采 样 地 点	爆炸下限 (%)	光折射率	换算系数	光折射 指示率	达到爆炸下 限时的检定 器读数(%)	对检定器读 数为1%的 安全系数
下石节矿+1320大巷	2.14	1.000726	0.31	3.23	6.91	6
下石节矿+1320大巷	1.98	1.000742	0.30	3.33	6.59	6
下石节矿+1320大巷	3.22	1.000635	0.46	2.17	6.98	6
杏树坪27*孔	4.02	1.000522	0.56	1.79	7.20	7
杏树坪29*孔	4.24	1.000468	0.71	1.41	5.98	5
杏树坪29*孔77.1	4.09	1.000452	0.772	1.29	5.24	5
下石节矿南二风巷2*孔	4.15	1.000502	0.6	1.67	6.93	6

因此，在煤、油共生矿井中可燃气体的安全管理指标，使用光学瓦斯检定器检测时，是可以按“煤矿安全生产试行规程”的规定执行。