

## · 煤层气 ·

# 煤层气生成与煤层气富集

## Ⅱ. 有效生气阶段生气量的估算<sup>\*</sup>

秦 勇 桑树勋 刘焕杰 范炳恒 韦重韬  
(中国矿业大学资环学院 徐州 221008)

**摘要** 煤层的生气条件主要通过有效阶段生气量来影响煤层气的富集。有效阶段生气量取决于有效生气阶段的起止煤级和煤中原始有机质的丰度及其组成。本文给出了估算有效阶段生气量的基本公式,重点讨论了煤中原始有机质的丰度和组成的恢复方法,并以沁水盆地南部主要矿区 3 号和 15 号煤层为例,对有效阶段生气量进行了估算。

**关键词** 煤层气 有效阶段生气量 计算方法

**中国图书资料分类法分类号** TD712.2

**作者简介** 秦 勇 男 40 岁 博士 教授 博士生导师 煤田地质 煤层气地质

### 1 引言

煤的生气能力常用产气率表示,包括煤气发生率、视煤气发生率和阶段生气率<sup>[1]</sup>。对于经历过多期构造运动的含煤盆地,先期形成的煤层气大量解吸和逸散,保存下来的煤层气主要源于二次(甚至多次)生气阶段,阶段生气率对煤层含气量的影响更直接和重要。前文<sup>[2]</sup>已述及,有效生气阶段对煤层气的保存具有决定性贡献,是为目前煤层原位气体提供气源的主要生气阶段。该阶段内煤中有机质的煤气发生率称为有效阶段生气量,它与煤层含气量之间往往具有正相关关系。视煤气发生率是计算有效阶段生气量的基础,前人对不同煤岩显微组分的视煤气发生率已做了大量热模拟试验,目前估算有效阶段生气量的关键在于恢复煤中原始有机质的丰度和组成。

### 2 估算流程

有效阶段生气量估算流程如图 1 所示。估算的前提是确定有效生气阶段,即在查明煤层埋藏史和古地热场演化史的基础上,恢复煤层的热演化历史

(煤化作用史)及其与含煤盆地构造演化史之间的匹配关系,最终确定有效生气阶段的起始煤级和终止煤级。关于沁水盆地实例的恢复结果见前文<sup>[2]</sup>,这里叙述一下估算流程的其他步骤。

### 3 基本公式

设有效生气阶段起始煤级和终止煤级对应镜质组随机反射率分别为  $R_1$  和  $R_2$  (%),终止煤级与当前煤级一致,则有:

$$G_E = K(G_{P2} - G_{P1}), \quad (1)$$

式中  $G_E$  ——有效阶段生气量,  $\text{m}^3/\text{t}$ ;

$K$  ——有机质丰度校正系数;

$G_{P1}$ 、 $G_{P2}$  ——有效生气阶段的起始煤级  $R_1$  和终止煤级  $R_2$  所对应的视煤气发生率,  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

在煤化作用过程中,煤中有机质由于压缩作用

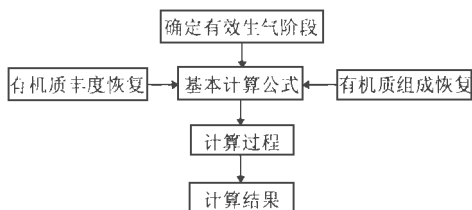


图 1 有效生气阶段生气量估算流程示意图

<sup>\*</sup> 煤炭科学基金资助项目(编号:地 95-10101)部分研究内容。

和脱挥发分作用而导致其自身体积和质量变小;但无机矿物质一般相对稳定,其体积变小但质量变化不大,可以近似地认为矿物质存在转化但总质量不变<sup>[3]</sup>。有机质校正系数  $K$  实际上是原始煤级煤与其转变为特定煤级煤中单位重量矿物质所对应的有机质含量之比。矿物质含量可以用灰分产率近似表示,视煤气发生率的起始煤级为褐煤,因此,

$$K = \frac{(1-A)/A}{(1-B)/B}, \tag{2}$$

式中  $A$  —— 原始煤级煤(褐煤)的灰分产率;  
 $B$  —— 当前煤级煤的灰分产率。

如果原始煤级煤中镜质组重量百分比为  $V$ ,壳质组重量百分比为  $E$ ,惰质组重量百分比为  $I$ ,且各显微组分组在不同煤级阶段的视煤气发生率已知(表 1),则:

$$G_{P2} = VG_{V2} + EG_{E2} + IG_{I2}, \tag{3}$$

$$G_{P1} = VG_{V1} + EG_{E1} + IG_{I1}, \tag{4}$$

式中  $G_{V1}$ 、 $G_{V2}$  —— 镜质组在有效生气阶段起始和终止煤级的视煤气发生率;  
 $G_{E1}$ 、 $G_{E2}$  —— 壳质组在有效生气阶段起始和终止煤级的视煤气发生率;  
 $G_{I1}$ 、 $G_{I2}$  —— 惰质组在有效生气阶段起始和终止煤级的视煤气发生率。

在式(2)、(3)、(4)中,原始煤级煤的灰分产率( $A$ )和显微组分组成( $V$ 、 $E$ 、 $I$ )有待进一步确定。

4 原始有机质丰度的恢复

原始煤级煤灰分产率的恢复,实质上就是煤的原始有机质丰度的恢复。煤由水分、灰分、固定碳和挥发分 4 部分组成,如果以干燥基为基础,可以不考虑水分,可近似地假设灰分和固定碳的绝对量在煤化作用过程中基本上恒定,则有机质含量的变化受控于挥发分绝对量的减少,有机质丰度的恢复可以通过恢复挥发分来实现。

取褐煤的平均挥发分产率 50%作为煤的原始挥发分产率,假设现今煤级煤的挥发分产率为  $C$ ,相对于固定碳绝对量  $F$  的挥发分变化为:

$$\frac{V_0}{V_m} = \frac{(F/50\%) \times 50\%}{[F/(1-C)] \times C} = \frac{1-C}{C},$$

式中  $V_0$  —— 原始挥发分产率;  
 $V_m$  —— 现今挥发分产率。

相对于固定碳绝对量  $F$  的有机质含量变化为:  
$$\frac{F + [F \times C / (1 - C)] \times [(1 - C) / C]}{F / (1 - C)} = 2(1 - C)。$$

现今煤级煤的灰分产率为  $B$ ,已知固定碳绝对量  $F$ ,灰分绝对量为  $D$ ,挥发分产率为  $C$ ,原始有机质绝对量为  $O$ ,则煤的原始有机质丰度应为:

$$\begin{aligned} \frac{O}{D+O} &= \frac{[D(1-B)/B] \times 2(1-C)}{D + [D(1-B)/B] \times 2(1-C)} \\ &= \frac{1}{B/[2(1-B)(1-C)] + 1}。 \end{aligned}$$

那么,煤的原始灰分产率  $A$  可用下式表示:

$$\begin{aligned} A &= \frac{B/[2(1-B)(1-C)]}{B/[2(1-B)(1-C)] + 1} \\ &= \frac{1}{1 + [2(1-B)(1-C)]/B}。 \end{aligned} \tag{5}$$

5 原始有机质组成的恢复

如果通过煤岩定量确定了现今煤级煤的显微组分组成,则只要能恢复每类显微组分在成烃演化过程中重量的减量,就可以恢复显微组分组成的原始面貌。关于各显微组分组在不同煤级下的重量减量,前人已进行了卓有成效的热模拟试验(表 2)。限于目前的研究水平,可以将显微组分的重量百分比和体积百分比视为近似相等。因此,

$$V = \frac{V/(1-V_s)}{V/(1-V_s) + E/(1-E_s) + I/(1-I_s)}; \tag{6}$$

$$E = \frac{E/(1-E_s)}{V/(1-V_s) + E/(1-E_s) + I/(1-I_s)}; \tag{7}$$

$$I = \frac{I/(1-I_s)}{V/(1-V_s) + E/(1-E_s) + I/(1-I_s)}; \tag{8}$$

表 1 显微组分组的视煤气发生率 m<sup>3</sup>/t

显微组分	煤 级						
	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤 3 号
壳质组	5~38	15~81	33~233	184~294	250~313	263~394	330~420
镜质组	3~25	10~54	26~145	128~208	194~231	214~223	286~364
惰质组	2~18	7~38	11~95	85~172	147~183	160~250	240~271

注:据李明潮等<sup>[4]</sup>

表 3 沁水盆地南部主要矿区主力煤层的有效阶段生气量 m<sup>3</sup>/t

矿区	煤层	目前的显微组分组成/%			目前的 灰分/%	原始的显微组分组成/%			原始的 灰分/%	有效阶段 生气量
		镜质组	壳质组	惰质组		镜质组	壳质组	惰质组		
沁源	3#	69.6	2.1	28.9	27	71.8	2.9	25.2	18	87
	15#	74.8	2.2	23.0	22	76.8	3.0	20.3	14	95
沁水	3#	69.3	5.6	23.1	20	71.1	8.7	20.3	12	92
	15#	76.3	4.4	19.3	24	77.0	6.5	16.5	15	106
阳城	3#	69.7	8.1	22.2	17	70.8	12.2	7.1	10	139
	15#	80.6	13.8	5.6	18	81.1	8.5	10.4	10	130
潞安	3#	85.0	0.2	14.8	22	86.8	0.3	12.8	15	47
	15#	80.9	0.3	18.8	23	82.9	0.4	15.4	15	40
霍州	3#	63.1	5.8	31.1	23	65.4	6.1	28.5	18	30
	15#	69.4	0.9	29.7	20	70.9	1.0	29.1	16	27
汾西	3#	72.4	4.4	23.6	30	74.6	5.0	20.4	23	28
	15#	65.6	1.8	32.6	18	68.4	2.7	28.9	13	24
洪洞	3#	63.5	8.8	27.7	23	66.4	9.3	24.9	17	42
	15#	52.4	4.2	43.4	24	55.4	5.0	39.7	17	36
翼城	3#	69.6	1.6	28.8	15	71.2	2.6	26.1	9	90
	15#	63.5	3.8	32.7	20	64.8	5.8	29.4	13	93

表 2 在不同热模拟温度下显微组分组的平均热失重率

显微组分组	镜质组反射率/%						
	0.55	0.72	0.89	1.14	1.43	1.98	2.70
惰质组→惰质组	1.1	2.0	2.8	3.1	6.1	13.4	28.3
镜质组→镜质组	7.6	8.6	14.9	17.9	19.7	22.5	28.3
壳质组→壳质组	7.1	7.2	15.9	37.8	43.4	48.4	51.0

注:资料引自肖贤明<sup>[5]</sup>

式中  $V_s$ 、 $E_s$ 、 $I_s$ ——镜质组、壳质组、惰质组在不同热模拟温度及相应煤级下的平均热失重率。

6 估算结果(实例分析)

将式(5)代入式(2)得到  $K$  值,将式(6)、(7)、(8)分别代入式(3)、(4),得到  $G_{P1}$ 、 $G_{P2}$  值,然后将  $K$ 、 $G_{P1}$ 、 $G_{P2}$  值代入基本公式(1),最终得出有效阶段生气量  $G_E$  的值。

GENERATION AND ACCUMULATION OF COALBED METHANE

II. ESTIMATION OF GAS YIELD IN EFFECTIVE GAS-GENERATING STAGE

Qin Yong Sang Shuxun Liu Huanjie Fan Bingheng Wei Chongtao  
(China University of Mining and Technology)

**Abstract** The gas-generating conditions of coal bed have influence on the accumulation of coalbed mainly by the gas yield in effective gas-generating stage. The gas yield in effective stage is dependent on the initial and terminal coal ranks of the effective stage, as well as the original abundance and composition of organic matter in coal. In this paper, a fundamental formula to estimate the gas yield in effective gas-generating stage is presented, and the recovery procedure to recover the original abundance and composition of organic matter in coal is discussed in detail. No. 3 and 15 seams of the main mining district in the southen Qinshui Basin, Shanxi, are used as examples to estimate the gas yield in effective stage

**Keywords** coalbed methane; gas yield in effective stage; calculation method.

应用上述估算方法,对沁水盆地南部主要矿区或勘探区的 3 号和 15 号煤层的有效阶段生气量进行了估算,结果如表 3 所示。

参考文献

1 傅家谟,刘德汉,盛国英主编. 煤成烃地球化学. 北京:科学出版社,1990;52~64  
2 桑树勋,刘焕杰,韦重韬等. 煤层气生成与煤层气富集: I. 有效阶段生气量与煤层气富集. 煤田地质与勘探,1997,25(6):14~17  
3 包茨主编. 天然气地质学. 北京:科学出版社,1998;41~55  
4 李明潮,张伍济主编. 中国主要煤层的浅层煤成气. 北京:科学出版社,1990;120~139  
5 肖贤明. 有机岩石学及其在油气评价中的应用. 广州:广东科技出版社,1992;162~168

(续完) (收稿日期 1997-03-24)