

淮南煤田同变质程度不同煤层 煤的成烃作用和储气性研究

吴俊

(中国科学院地质研究所)

提要 本文从煤岩学、有机地球化学及煤的储气性原理出发,研究了淮南煤田同变质程度不同煤层煤(B_{11b}、B₁₀)在成烃母质、富烃特征、成烃作用和储气性等方面的差异性。B_{11b}煤层中含有较多的似石油物质、渗出体、显微组分等的荧光浸渍现象、油滴和油膜、微粒体等,它们是煤成烃作用的直接光学标志。B_{11b}煤层的地化参数指出较强的还原环境将有利于成烃作用。B_{11b}煤层的孔隙性(孔容、孔径分布、孔隙结构)说明它不仅有良好的储气性能,而且还具有较有利于煤层气体运移的物性条件。而上述特征是B₁₀煤层所不具备的。

主题词 煤岩学 显微组分 煤成烃 孔隙性

作者简介 吴俊 男 34岁 博士 沉积地球化学

当今有关煤成烃理论日趋完善(B.P.Tissot 1978, B.Durand, 1980)。沉积岩中的有机质在一定的热演化阶段均能产生规模不等的烃类产物。尽管如此,是否同等变质程度的煤(或Ⅲ型干酪根)都具有相同的产烃特征呢?通过对淮南煤田二叠系石盒子组B_{11b}、B₁₀煤层的煤岩学、有机地化、烃类气体组分和含量以及煤储气性的综合研究,笔者认为对同等变质程度的不同煤层的含气性评价应作具体的研究,即相同变质程度的煤层,其母质来源、显微组分的组成和性质以及煤层的储气性差异则是造成煤层含气性差异的原因。

一、淮南煤田B_{11b}、B₁₀煤层特征

淮南煤田B_{11b}、B₁₀煤层同属二叠系下石盒子组B组煤层。B_{11b}煤层在上, B₁₀煤层在下。两煤层间距约30m。顶底板均为透气性差的砂质泥岩和泥岩。它们处于相同的地质构造背景下,镜质组反射率R^o约为0.80—0.82%,均为肥气煤(表1)。但两煤层在宏观特征及含气性上差别甚远。

1. B_{11b}煤层

B_{11b}煤层厚约3.5m,煤质松软,具有典型“构造煤”特征,现场大致可分为粉粒状和鳞片状两种类型。手触滑感。有些地段还可见到褶皱和滑动的痕迹。煤层顶部在部分区段为块状构造。煤层光泽暗淡,原生结构破坏强烈。煤层煤样的可磨性系数K_{H.G}为60—90。煤层气体组分以CH₄为主,并含有一定数量的重烃组分。煤层含气性高,亦属强烈突出危险性煤层。

煤层显微组分以镜质组为主,多为均质镜质体和基质镜体(表1,图版I,1)。惰性组以粗粒体和棉絮状丝质体为主。B_{11b}煤层中还存在着各种产状的微粒体(图版I,2、3、

4、5), 这是区别 B_{10} 煤层的一个重要显微特征。稳定组以小孢子体和角质体为主, 常见木栓质体 (图版 I, 6、7)。稳定组分分布零乱 (图版 I, 8)。粘土矿物多呈浸染状和层状。黄铁矿为莓粒状和复粒状, 它们说明 B_{11b} 煤层形成于一种较强的还原环境中。

表 1 淮南煤田谢家集矿区 B_{11b} 和 B_{10} 煤层煤性质鉴定

Table 1 Chemical indicators and coal maceral measurement of B_{11b} and B_{10} coal beds at Xiejiaji Mine district in Huainan Coal Field

煤层		B_{11b}				B_{10}			
样品类型		原煤		精煤		原煤		精煤	
煤化学指标(%)		A^g	S_0^o	V^r	Ym/m	A^g	S_0^o	V^r	Ym/m
		22.27	0.81	34.61	11.68	25.90	0.35	35.13	11.03
显微组分%	镜质组	59				56			
	惰性组	31				36			
	稳定组	10				8			
$VR^o(\%)$		0.80—0.82				0.80—0.82			

2. B_{10} 煤层

B_{10} 煤层厚约 1.2m。煤质地坚硬, 富有光泽, 条带状结构清楚。 $K_{H.G}$ 为 40—50。煤层 CH_4 含量低于 B_{11b} 煤层。显微组分以镜质组为主, 偶见结构镜质体。惰性组中多为结构保存完好的丝质体。稳定组仍以小孢子体和角质体为主, 但它们轮廓清晰、没有膨胀和浸渍现象。

二、煤层煤成烃的光学标志特征

迄今为止, 显微荧光技术已成功地应用于石油地质学和煤岩学中 (E. Stach, 1975, M. Teichmuller, 1977)。并对煤中含有“似石油物质”的观点有了一致的看法。在 MPV-Compact 和 Nikon 荧光显微镜下对 B_{11b} 、 B_{10} 煤层计约 30 个冷制片 (用 307 或 191 不饱和树脂胶制作) 进行观察, 可以发现两煤层具有极不相同的荧光显微组分和成烃特征。

1. B_{11b} 煤层中的荧光特征

在荧光显微镜下, 该煤层中有着极为丰富的荧光现象并简述如下 (以蓝光激发特征描述):

- (1) 小孢子体 橙—棕红色, 形态清楚, 但分布零乱。小孢子体具有膨胀并浸渍周围组分的现象, 有时可见起源于小孢子体的渗出体, 它们多为楔形或瘤状物。
- (2) 木栓质体 为常见组分, 木栓结构模糊并发橙黄—橙红色荧光, 有荧光浸渍现象。这一特征能说明有机质生烃和排烃的事实。
- (3) 树脂体 为橙黄色荧光, 分布较广且形态多样, 它一般具有明显的外渗特征。
- (4) 渗出体 为 B_{11b} 煤层的特征显微组分。荧光色为橙黄—耀眼的柠檬黄色。它们切割层理, 有水平和垂直分布两种类型, 多充填于裂隙中。有时在一些“构造煤”中可见网状渗出体, 它起到了粘结构造煤的作用。按油气理论, 渗出体的存在说明了成煤有机质成烃作用强的特征。

(5) 油滴现象 这是 B_{11b} 煤层中的一个重要荧光特征, 为柠檬黄色荧光, 呈椭圆形或圆形。根据光学鉴定可能为萜烯体 (Terperite)。油滴现象说明 B_{11b} 煤层中存在着一些易成烃的天然高级脂肪物。

(6) 油膜和云雾状荧光现象 这也是 B_{11b} 煤层中的一个重要荧光特征。在蓝光或紫外光照射下, 煤的表面呈现橙黄、桔黄—黄绿色荧光的混浊油膜现象, 属云雾状荧光具浸渍特征。这一事实进一步说明该煤中的有机质具有较强的成烃作用和一定的成烃潜力。

2. B_{10} 煤层中的荧光特征

B_{10} 煤层中的荧光现象较为简单, 它不失一般高挥发分烟煤 A 的荧光特征。镜质体具有较弱的橙—棕红色荧光或不发荧光。稳定组主要是小孢子体, 发橙红色荧光, 其轮廓清楚并不具浸渍现象。角质体多以碎片或以薄壁角质体为主, 规则排列。偶见丝质体胞腔充填有树脂体的现象, 并发柠檬黄色荧光。这些特征说明 B_{10} 煤层中有机质的成烃能力较弱的事实。

总之, 通过光学鉴定可证明 B_{10} 煤层中存在着较多的似石油物质, 并可说明它具有成烃作用强的事实。同时气相色谱资料也提供了 B_{11b} 煤层比 B_{10} 煤层含有更多的烃类气体的证据。煤化学数据也指出 B_{11b} 煤层的胶质层厚度普遍比 B_{10} 煤层大 (表 1)。笔者认为在用光学方法评价煤成烃特征时, 不能仅用稳定组分的定量数据, 更重要的是应在显微镜下捕捉一些显微组分成烃的光学标志, 如渗出体、油滴、油膜、荧光浸渍现象等, 而这些现象则能反映出煤成烃的过程和强度。

三、煤层的若干有机地化特征

Tissot (1978, 1984) 指出: 正构烷烃的含量在很大程度上取决于形成条件, 并且与原始有机质的性质有关。两煤层氯仿沥青 A 的正构烷烃色谱分析表明, 它们的 OEP 和主峰碳大致相近 (表 2), 这说明它们均经历了大致相当的煤化作用并具有相似的母质类型。对 Pr/Ph 值而言, B_{11b} 小于 B_{10} 。表示两煤层在其形成环境上存在着一定的差异性。Tissot (1979) 认为 Pr/Ph 值可以反映叶绿素早期分解时的氧化还原环境, 比值大者为相对氧化环境, 小者为相对还原环境。Lijembach G.W.H (1975) 还认为: Pr/nC₁₇ 值也可评价烃源岩的沉积环境, 比值小者指示烃类产物是在开阔水域环境中形成的, 比值大者则为一种相对沼泽型的生烃环境。由此可见, B_{11b} 煤层的成烃环境比 B_{10} 煤层处于相对的还原环境下, 这样的环境是利于烃类物质的形成和保存的。

表 2 B_{11b} 、 B_{10} 煤饱和烃 GC 参数

Table 2 GC parameters of saturated hydrocarbons obtained from B_{11b} coal beds

煤层	OEP	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	$\Sigma C_{20}^- / \Sigma C_{20}^+$	C ₂₅ —C ₃₃
B_{11b}	1.07	2.01	0.73	0.33	0.77	20.90%

对 B_{11b} 、 B_{10} 煤进行氯仿抽提前后样品的热失重实验表明: 它们在热失重率上存在着一定的差异 (表 3)。前者的热失重率大于后者, 这说明 B_{11} 煤层中含有较多的生烃有机质, 并证明了它还具有较高的生烃潜力 (图 1)。

因此, 对于同变质程度的煤层, 由于形成环境和母质上的差异, 虽然它们经历了相同的

热演化程度，但生烃潜力却会大不相同。

表3 B_{11b}、B₁₀煤抽提前后的热分析数据

Table 3 Thermal analysis data of coal and extracted coal obtained from B_{11b} and B₁₀ coal beds

热分析 煤层	热失重率(%)		放热峰温度(°C)			
	抽提前	抽提后**	抽提前		抽提后	
			前峰	后峰	前峰	后峰
B _{11b}	85.33	78.39	356	488	332	492
B ₁₀	75.33	74.64	336	490	336	490

* 实验在 Thermflex 热分析仪上进行，始温 120°C，终温 600°C；

** 氯仿抽提 72 小时。

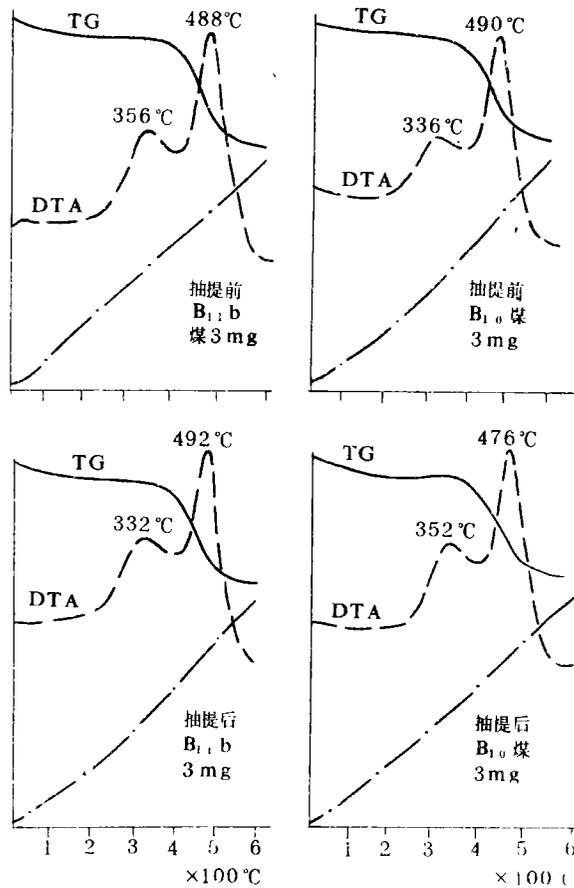


图1 B_{11b}、B₁₀煤抽提前后 TG、DTA 曲线

Fig.1 The TG, DTA curves of B_{11b}, B₁₀ coal beds

四、两煤层储气性及气体运移特征

利用意大利 Carlo-Erba 公司 2000 型压汞仪可分别测出压力为 1—2000kgf/cm² 范围

内的孔容和孔径分布(孔隙半径 $37.5\text{--}75000 \times 10^{-8}\text{cm}^2$)。对于半径为 $7.5 \times 10^{-4}\text{cm}$ 以下的孔隙与煤中的宏观裂隙相比可谓之微孔隙。笔者认为处于地下的煤层, 由于巨大的地层压力而使煤层裂隙处于一种准封闭状态。因此, 煤层气体在煤层中的运动实际上是在这些微孔隙中的传质过程。

对 B_{11b} 、 B_{10} 煤层样品进行压汞法孔隙性测定可得 B_{11b} 煤的孔容为 $0.1820\text{cm}^3/\text{g}$, B_{10} 煤为 $0.0314\text{cm}^3/\text{g}$ (表 4)。由此可见, 前者的储气空间是后者的五倍之多。根据表 4、图 1 可清楚地看出 B_{11b} 煤层中孔隙半径大于 $5 \times 10^{-6}\text{cm}$ 的孔隙较多, 约占总微孔容的 90.12%; 而在 B_{10} 煤层中仅有 68.79%。根据气体分子运动学原理可得气体分子在两煤层中的运动形式不一 (黄仲涛, 1984)。以 CH_4 分子为例, 努森 (Knudsen) 扩散传质运动在 B_{10} 煤层中点有较大的比例, 这种扩散传质运动是气体分子在直径小于 $1 \times 10^{-5}\text{cm}$ 孔隙中的运动形式。由于 B_{10} 煤层中 CH_4 的比例较低, 根据气体分子平均自由程 (\bar{l}) 与气体浓度 (N) 的关系 ($\bar{l} = 0.707 / N\pi d^2$) 可知, B_{10} 煤层中 CH_4 的 \bar{l} 值较大于 B_{11b} 煤层。因此, 若按气体分子平均自由程 $1 \times 10^{-5}\text{cm}$ 为衡算标准, 再按煤层孔径分布特征可得, B_{10} 煤层中的 CH_4 分子在未发生自身碰撞之前便发生了与孔壁的碰撞, 而这种碰撞必定增加 CH_4 分子运动的“阻力”, 这就是 Knudsen 扩散的特征。然而在 B_{11b} 煤层中的情况有所不同。首先 B_{11b} 煤层中的 CH_4 浓度较高, 煤层中孔径大于 $1 \times 10^{-5}\text{cm}$ 的孔隙比例大, 由此推测 CH_4 分子多以容积型扩散传质运动为主。也就是说: 当气体分子进入孔隙后, 气体分子间的碰撞频率大于分子与孔壁间的碰撞频率。若在有序的运动状态下, 这种气体分子间的碰撞将会增加气体分子本身的运动速度, 同时也增加了自身的能量。从某种意义上说, 这种容积型扩散对煤层气体的运移和扩散是十分有利的。

表 4 两煤层微孔容和孔径分布

Table 4 Total pore volume and pore size distribution of coals from B_{11b} and B_{10} coal beds

r ($\times 10^{-8}\text{cm}$)	p (kgf/cm^2)	累计体积 ΣV , (cm^3/g)	
		B_{11b}	B_{10}
75000	1	0	0
25000	5	0.0879	0.0126
15000	5	0.1070	0.0150
10714	7	0.1194	0.0162
7500	10	0.1292	0.0174
5000	15	0.1372	0.0185
4000	18.75	0.1408	0.0190
3000	25.00	0.1451	0.0196
2000	37.00	0.1492	0.0200
1000	75.00	0.1578	0.0205
500	150.00	0.1633	0.0216
200	375.00	0.1699	0.0238
100	750.00	0.1738	0.0264
37.5	2000.00	0.1812	0.0314
$\Sigma \bar{V}$		0.1812	0.0314

现场证明: B_{11b} 煤层比 B_{10} 煤层不仅具有较大的储气性, 而且还比 B_{10} 煤层具有较好的

气体运移条件。

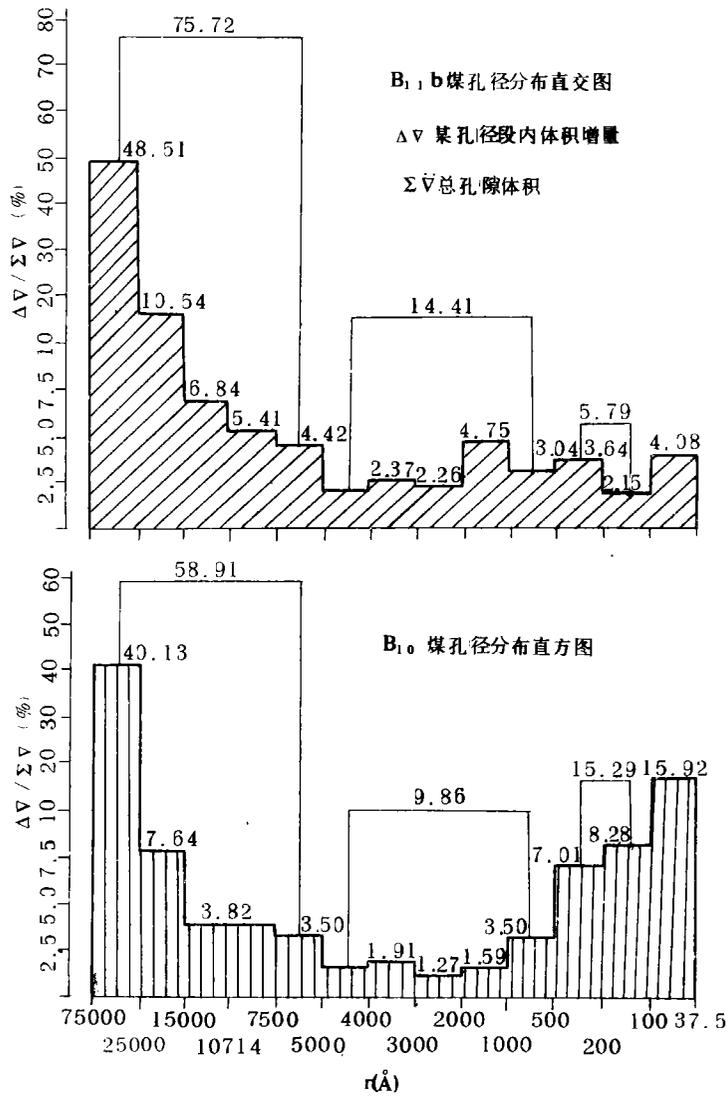


图2 B_{11b}、B₁₀煤层样品孔径分布直方图

Fig.1 Histograms of pore size distribution of coals from B_{11b} and B₁₀ coal beds

五、结 论

1.同变质程度的 B_{11b}、B₁₀ 煤层具有不同的烃类气体组成和含量，这与煤中有机物质的组成和性质有关，即 B_{11b} 煤层中含有较多的似石油物质。

2.用荧光显微镜方法可识别煤中发荧光显微组分的产状、形态以及各种生烃和排烃标志。当有渗出体、油滴、油膜以及荧光浸渍现象出现时则可说明该煤层中有机质曾在煤化作用过程中发生了成烃作用和排烃过程。 B_{11b} 煤层的光学鉴定证明了以上事实的存在。

3.同变质程度的不同煤层虽经历了相同的热演化史,但由于成煤环境的差异和成煤母质的不同则可能进一步导致有机质成烃作用的差异。处于相对还原环境的 B_{11b} 煤应比 B_{10} 煤具有较强的生烃能力。

4.煤既是一种良好的生烃母质,同时又是一种储集岩。 B_{11b} 煤层的孔隙性表明它不仅容载气体的能力大,而且还具有利于气体富集和运移的特征。

5.评价煤成烃时应从煤层的具体性质上加以评价,这里包括有机质性质、成烃和排烃的光学标志、地化参数以及储运气性能等方面,否则将会导致评价上的失误。

作者感谢唐修义教授、杨宜春副教授和金奎励教授的热情指导和帮助。

收稿日期: 1988年6月8日

参 考 文 献

- (1) 黄仲涛, 1984, 基本有机化工理论, 化学工业出版社。
- (2) Durand B. 1980, Kerogen—Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks, Editions Technip, Paris.
- (3) Josephus Thomas, Jr and Heinz H. Damberger, 1976, Internal Surface Area, Moisture Content and Porosity of Illinois Coal: Variations with Coal Rank, Illinois State Geological Survey.
- (4) Stach E. 1975, Textbook of Coal Petrology, Gebruder Borntraege, Berlin, Stuttgart.
- (5) Teichmuller M. and Wolf M. 1977, Journal of Microscopy, Vol. 109, p. 49—73.
- (6) Teichmuller M. 1973, Generation of Petroleum—like Substances in Coal Seams as Seen under the Microscopy, In Advances in Organic Geochemistry, 1973, p. 379—408.
- (7) Tissot B. P. and Welte D. H. 1978, Petroleum Formation and occurrence, Springer—Verlag, Berlin, New York.
- (8) Wolf M. 1978, progress in coal petrography by Use of Fluorescence Microscopy, In 25th Annual Meeting of the ICCP.

STUDY ON HYDROCARBON GENERATION AND GAS-STORAGED CAPACITY OF DIFFERENT COALBEDS IN SAME RANK IN HUAINAN COALFIELD

Wu Jun

(Institute of Geology; Chinese Academy of Sciences)

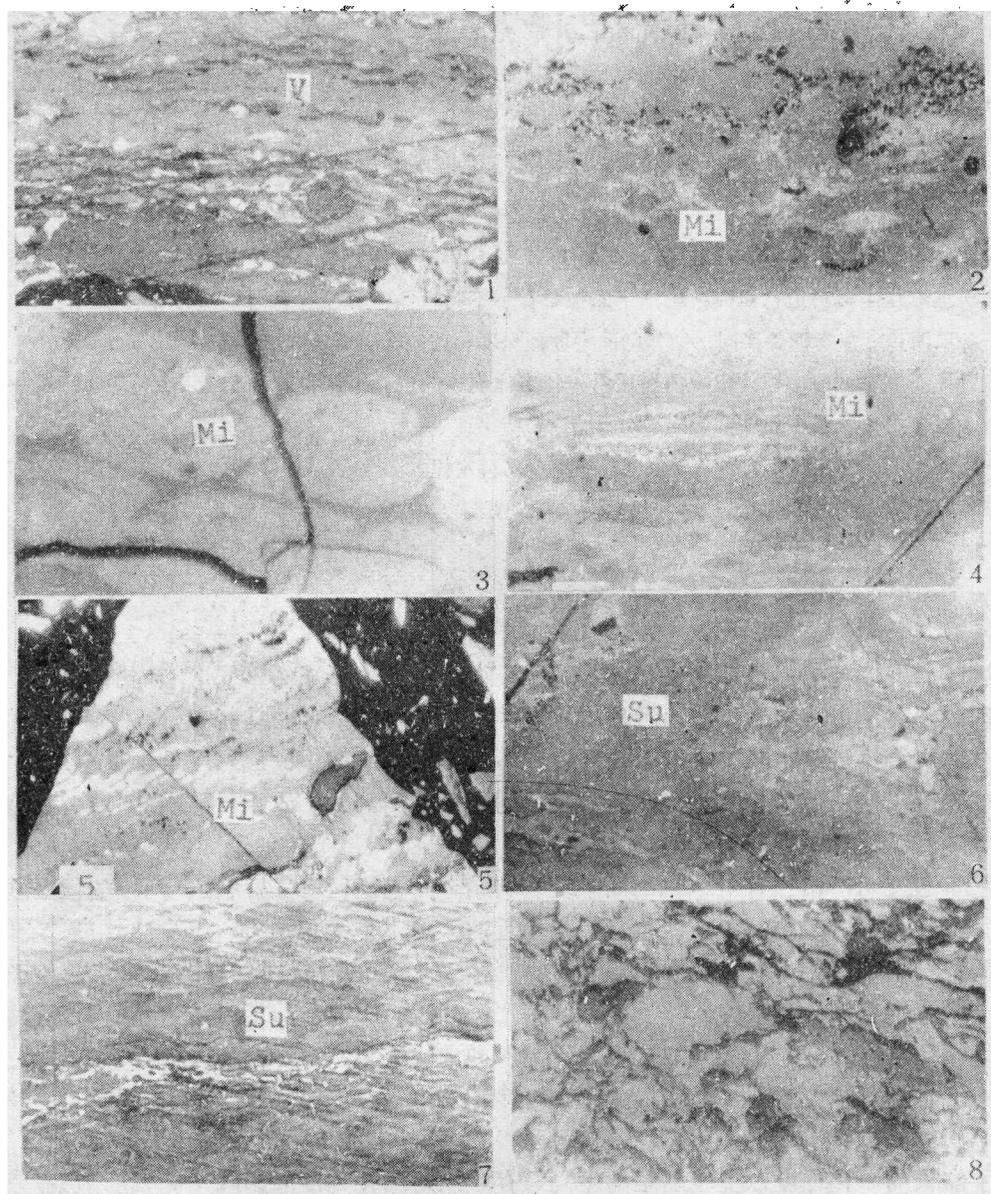
Abstract

Coalbeds B_{11b} and B_{10} from the lower Shihezi formation of Permian are a pair of adjacent coalbeds at Xiejiaji coal district in Huainan Coalfield. Both coalbeds are of same rank ($R_o = 0.80 - 0.82\%$) and under the same geological conditions. However, their gas-bearingness and gas-compositions are quite different. B_{11b} is rich in coalbed gas and heavy hydrocarbon compositions, whereas B_{10} is poor. According to their coal petrology and organic geochemistry, the reasons on gas-bearingness and strong coal-generated hydrocarbon are studied in this paper.

1. Under optical and fluorescence microscopy, there exist many kinds of hydrocarbon-rich macerals and microindicators in coal-generated hydrocarbon in B_{11b} , such as bituminite-filling, resinite-filling, exudatinitite, suberinitite, oil drops and oil film, and micrinites with many shapes and occurrences. Some of these macerals are also the microindicators in migration of coal-generated oil and gas.

2. The information in organic geochemistry shows that both coal beds might form in different sedimentary environments. Their OEP parameters are roughly same, i.e. they are in the same maturity. However, the parameters, such as Pr/Ph , Pr/nC_{17} , Ph/nC_{18} , are quite different. These parameters show that the reducibility of B_{11b} is stronger than that of B_{10} . The author has considered that B_{11b} is mainly composed of herbaceous plant and hydrophyte and form in an environment of "open waters" or "swamp water land", while B_{10} is made up of wood plant and form in an environment of "forest swamp". The thermal analysis shows that B_{11b} is of higher thermal weight-loss than B_{10} and greater potential in coal-generated hydrocarbon.

3. The porosity and gas-storing capacity of both the coal beds has also been studied by author. The theory and experiments have indicated that the porosity in B_{11b} is favourable for gas storage, diffusion and migration.



(样品均为淮南煤田 B116 煤层, 油浸反光, $\times 500$)

1. 基质镜质体 (V)。
2. 基质镜质体中的微粒体 (Mi)。
3. 藕节状微粒体 (Mi)。
4. 微粒体 (Mi)。
5. 蠕虫状微粒体 (Mi)。
6. 膨融状木栓质体 (Su)。
7. 木栓质体 (Su) 和微粒体 (Mi)。
8. 分布零乱的稳定组分。