

文章编号: 1001-1986(2008)03-0001-05

# 鄂尔多斯盆地煤的热解生烃潜力与成烃母质

李小彦<sup>1</sup>, 司胜利<sup>2</sup>

(1. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054;

2. 云南省煤田地质局, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 对鄂尔多斯盆地石炭—二叠纪、三叠纪和侏罗纪 3 套煤系烃源岩, 进行煤岩煤质基本特性研究, 并结合热解试验结果, 探讨不同煤系煤的生烃潜力。研究认为: 煤型有机质的液态烃产率普遍较低, 且主要产出气态烃; 本区煤的生烃潜力表现为三叠纪和石炭纪煤高, 侏罗纪煤低的特点。综合考虑成煤地质条件、煤岩煤质和热解试验结果, 煤的成烃母质类型为 III 型, 继而细分为 3 级: 即三叠纪和盆地东缘二叠纪的半亮煤、镜煤为 III<sub>1</sub> 型; 盆地东西缘石炭纪的半暗煤为 III<sub>2</sub> 型; 盆地西缘二叠纪和侏罗纪的暗煤、暗淡煤为 III<sub>3</sub> 型。

**关键词:** 煤型烃源岩; 生烃潜力; 成烃母质类型; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** P618.11 **文献标识码:** A

## The hydrocarbon potential and precursor types of coal pyrogenation in Ordos Basin

LI Xiao-yan<sup>1</sup>, SI Sheng-li<sup>2</sup>

(1. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China;

2. Yunnan Coal Field Geology Bureau, Kunming 650034, China)

**Abstract:** The characteristics of Carboniferous and Permian, Triassic, Early-Middle Jurassic coal measures in Ordos Basin and their hydrocarbon potential are investigated on their petrology, property, coal pyrogenation. The study results indicated that the liquid hydrocarbon generation rate of coal-measures source rock is low, but the gas hydrocarbon productivity is larger; the hydrocarbon potential of Carboniferous and Triassic coal are better than that of Jurassic coal. Based on analysis of coal generation conditions, coal petrologic and quality properties and pyrolysis measurement results, the hydrocarbon precursor type of Ordos Basin is type III and can be divided into three grades: Triassic, Permian (on eastern boundary) semi-bright coal and vitrain belong to III<sub>1</sub>, the Carboniferous (on eastern and western boundaries) semi-dull coal belongs to type III<sub>2</sub>, Permian (on western boundary), Jurassic durain and dull coal belong to type III<sub>3</sub>.

**Key words:** coal-measures source rock; hydrocarbon generation potential; hydrocarbon precursor types; Ordos Basin

天然气多元化成因理论指出, 有机成因气是迄今为止发现的绝大多数具有工业价值的气藏的主要来源, 据生气母质特点, 煤型气分为聚集型和分散型两大类, 煤层就是聚集型天然气的母源<sup>[1]</sup>。我国已探明的天然气储量中, 煤型气占 54%, 目前这种比重仍在攀升<sup>[2]</sup>。

鄂尔多斯盆地是多个地质时期形成的多旋回叠合沉积盆地, 不仅是我国重要的含油气盆地, 也是一个世界级巨型聚煤盆地。盆地发育晚古生代石炭—二叠纪、中生代三叠纪和侏罗纪含煤岩系。煤型有机质作为天然气的主要母质来源, 已被广泛的研究

所肯定。戴金星院士对鄂尔多斯盆地天然气研究后指出, 盆地 95% 的天然气为煤型气<sup>[3-4]</sup>。受成煤期地质条件控制, 各煤系聚集型有机质的性质和成熟度存在很大差异, 其生烃潜力也截然不同。因此, 研究其生烃潜力及母质类型, 对盆地天然气资源的远景预测具有重要意义。

### 1 煤层时空分布及资源状况

煤炭地质研究认为: 鄂尔多斯盆地中, 石炭—二叠纪含煤岩系形成于华北地台型聚煤盆地, 为海陆交互相沉积; 三叠纪含煤岩系形成于华北大型内

收稿日期: 2008-01-31

基金项目: 国家重大基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214602); 科研院所社会公益研究专项(2005DIB5J212)

作者简介: 李小彦(1953—), 女, 陕西扶风人, 研究员, 从事煤田地质学、煤岩学和煤层气地质研究工作。

陆坳陷盆地，为湖泊相沉积；侏罗纪含煤岩系形成于独立出的鄂尔多斯沉积盆地，为陆相河流和湖泊三角洲相沉积<sup>[5]</sup>。

据最新勘探资料<sup>[5-6]</sup>，石炭—二叠纪太原组、山西组主要发育中高煤级烟煤，含煤 4~8 层，累计厚度 20~30 m，2 000 m 以浅含煤面积 32 150 km<sup>2</sup>，煤炭资源量 486.13 Gt，占盆地煤炭资源总量的 24.61%，主要分布在盆地东西两缘。三叠纪瓦窑堡组发育低煤级气煤，含煤 7~15 层，累计厚度 11 m，分布面积 1 159.3 km<sup>2</sup>，煤炭资源量 1.48 Gt，占盆地煤炭资源总量的 0.07%，分布在盆地中部。侏罗纪延安组发育低煤级不粘煤和长焰煤，含煤 10~15 层，累计厚度 15~20 m，分布面积 113 660 km<sup>2</sup>，煤炭资源量 1 487.66 Gt，占盆地煤炭资源总量的 75.32%，在盆地大面积范围内分布。3 套煤系含煤总面积 146 920 km<sup>2</sup>，煤炭资源总量 1 975.278 Gt，占全国煤炭资源总量的 35.45%。丰富的煤炭资源为盆地天然气提供了丰富的物源。

据煤层气评价资料<sup>[6]</sup>，石炭—二叠纪煤层气资源量 5 469.382 Gm<sup>3</sup>，侏罗纪煤层气资源量 7 923.825 Gm<sup>3</sup>，共计煤层气资源总量达 13 393.207 Gm<sup>3</sup>。

## 2 样品及测试分析

对盆地各煤系主要可采煤层共采集 18 个煤层煤样，其中，延安组 2 个；瓦窑堡组 2 个；盆地东、西缘山西组各 2 个，太原组各 5 个。同时，通过剥离煤岩组分样品(镜煤 5 个，暗煤 5 个)和煤岩类型样品(半亮煤 6 个，半暗煤 6 个，暗淡煤 6 个)，进行系统的煤岩煤质及热解试验，深入研究煤层的生烃潜力及成烃母质性质。

## 2.1 煤岩煤质特征

对 18 个煤层煤样，首先遵照国家标准 GB/T 18023-2000 进行肉眼描述及宏观煤岩类型划分。4 个煤组的宏观煤岩类型统计结果见表 1。

表 1 鄂尔多斯盆地煤层宏观煤岩类型  
Table 1 Macrolithotype of coal seam in Ordos Basin

含煤 层位	煤层数	煤层总 厚度/m	煤岩类型 $w_B$ /%			
			光亮煤	半亮煤	半暗煤	暗淡煤
J <sub>2</sub>	2	6.24	0.0	85.0	4.0	2.0
T <sub>3</sub>	2	0.86	0.0	43.0	48.0	2.0
P <sub>2</sub>	4	14.02	2.0	15.0	45.0	23.0
C <sub>2</sub>	10	34.45	1.0	21.0	54.0	18.0

遵照国家标准 GB/T8899-1998 和 GB/T6948-1998，对 46 个煤岩组分样、煤岩类型样和煤层煤样进行显微组分和镜质体反射率测定(表 2)以及煤质分析、元素分析(表 3)。

## 2.2 煤的荧光特征

在普通反光显微镜观测的基础上，对 46 个煤岩组分样、煤岩类型样和煤层煤样进行荧光显微镜观测。结果发现，煤中除了常见的壳质组分外，还有荧光质体、渗出体、藻类体、荧光镜质体和沥青质体等似石油物质及类脂组碎屑。荧光镜下统计的煤中富氢的荧光组分含量明显高于反光镜下的壳质组含量(图 1)。另外，荧光组分在不同时代煤中变化不一，除延安组( $R_{\max}=0.54\%$  处样品)含量甚微外，其余均有一定含量，统计荧光组分与壳质组的增率为：瓦窑堡组 14.5%；山西组 7.1%~38.2%；盆地东缘太原组 3.2%~75.5%；盆地西缘太原组 28%~68.3%。

表 2 鄂尔多斯盆地煤的显微煤岩组分和反射率测定结果  
Table 2 Measurement results of maceral and vitrinite reflectance of coal seam in Ordos Basin

样 品	显微组分 $w_B$ /%				$R_{\max}$ /%
	镜质组	惰质组	壳质组	矿物质	
镜 煤 (5)	77.5~92.7/86.4	1.9~17.0/6.8	0.8~4.6/2.1	3.3~6.6/4.7	0.54~0.86
暗 煤 (5)	39.4~67.2/54.8	17.6~53.3/30.5	5.1~11.7/8.2	1.1~12.2/6.6	0.54~0.86
半亮煤(6)	72.9~91.0/81.5	1.7~21.6/10.6	2.3~6.1/5.0	1.5~6.1/2.9	0.58~0.96
半暗煤(6)	54.4~70.6/63.9	18.3~42.8/25.0	2.2~10.0/7.1	0.6~12.0/4.4	0.54~0.96
暗淡煤(6)	48.9~66.7/57.1	22.0~28.2/25.7	5.5~9.8/7.5	3.3~17.2/9.5	0.76~0.96
J <sub>2</sub> (2)	55.6~57.9/56.8	36.0~37.4/36.7	2.2~2.6/2.4	2.5~5.8/4.2	0.54~0.58
T <sub>3</sub> (2)	72.6~76.1/74.4	8.2~8.4/8.3	6.5~8.4/7.5	9.2~10.6/9.8	0.83~0.88
P <sub>2E</sub> (2)	72.2~75.4/73.8	12.4~13.3/12.9	9.7~10.8/10.3	1.4~4.8/3.1	0.73
C <sub>2E</sub> (5)	58.3~71.7/63.7	17.3~26.7/22.6	5.0~9.0/6.8	2.0~11.7/6.9	0.68~0.77
P <sub>2W</sub> (2)	53.4~53.6/53.5	23.2~24.8/24.0	2.8~6.8/4.8	16.6~18.8/17.7	0.94~0.96
C <sub>2W</sub> (5)	50.3~77.3/61.8	15.6~20.7/17.9	3.9~9.0/5.8	3.2~20.0/14.5	0.84~0.96

注：P<sub>2E</sub>—盆地东缘二叠纪；P<sub>2W</sub>—盆地西缘二叠纪；C<sub>2E</sub>—盆地东缘石炭纪；C<sub>2W</sub>—盆地西缘石炭纪；(2)—样品数；

表中数据(如 77.5~92.7/86.4)表示：最小值~最大值/平均值，下同。

表 3 鄂尔多斯盆地煤的煤质分析结果  
Table 3 Analysis results of coal quality of coal seam in Ordos Basin

w<sub>B</sub>/%

样 品	工 业 分 析			元 素 分 析	
	A <sub>d</sub>	V <sub>daf</sub>	S <sub>t,d</sub>	C <sub>daf</sub>	H <sub>daf</sub>
镜 煤 (5)	6.89~13.39/9.87	39.18~41.09/40.20	0.35~2.43/1.14	79.76~82.78/81.15	4.98~5.60/5.22
暗 煤 (5)	5.90~31.23/19.62	29.29~34.41/31.62	0.25~1.14/0.60	79.55~83.65/82.10	4.38~4.62/4.53
半亮煤(6)	4.32~9.95/7.59	33.79~40.93/38.11	0.36~5.26/1.88	81.15~85.67/82.85	5.02~5.60/5.24
半暗煤(6)	2.75~21.33/11.54	31.32~36.01/33.91	0.24~1.36/0.93	82.51~84.44/83.28	4.74~5.21/4.93
暗淡煤(6)	12.34~40.83/26.60	28.22~33.08/30.81	0.31~2.79/1.40	79.09~84.34/82.42	4.26~4.93/4.66
J <sub>2</sub> (2)	6.50~7.60/7.10	32.60~32.65/32.63	0.28~0.32/0.31	81.73~82.48/82.11	5.17
T <sub>3</sub> (2)	22.83~23.07/22.95	37.74~39.67/38.71	1.07~2.36/1.72	81.42~81.61/81.52	5.28~5.82/5.55
P <sub>2E</sub> (2)	10.97~11.72/11.35	39.05~40.52/39.79	0.50~0.63/0.57	81.32~81.69/81.51	5.01~5.35/5.18
C <sub>2E</sub> (5)	7.60~20.21/14.33	34.19~38.04/36.43	1.51~2.06/1.86	82.15~83.05/82.11	4.88~5.30/4.84
P <sub>2W</sub> (2)	35.37~35.69/35.53	35.55~37.10/36.33	0.55~0.62/0.59	79.10~79.44/79.27	5.17~5.22/5.20
C <sub>2W</sub> (5)	6.80~39.20/26.49	35.46~39.77/36.75	1.80~2.71/2.41	77.51~83.85/80.45	5.10~5.49/5.55

注:表中数据注释同表 2。

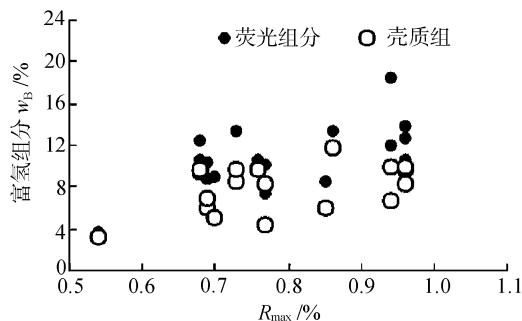


图 1 煤的反射率与富氢组分关系

Fig. 1 Relation of vitrinite reflectance and hydrogen-rich macerals of coal

由于壳质组各组分的化学性质不同,其荧光性强弱也不同。一般而言,树脂体的荧光最强;角质体、孢子体、藻类体和荧光体的次之;荧光镜质体和渗出沥青体的荧光较弱。以铀玻璃为 100%作为标准,对煤中所有富氢组分进行荧光强度测定,其荧光相对强度变化如图 2 所示。可以看出,鄂尔多斯盆地 3 套煤系中煤的相对荧光强度随反射率  $R_{\max}$  增

加呈现规律性变化,除延安组( $R_{\max}=0.54\%$ 处样品)因富氢组分含量少、相对荧光强度低外,其余煤( $R_{\max}$  为  $0.68\%\sim 0.96\%$ )的荧光强度随反射率增高由强变弱,当反射率再增加,则荧光性消失。

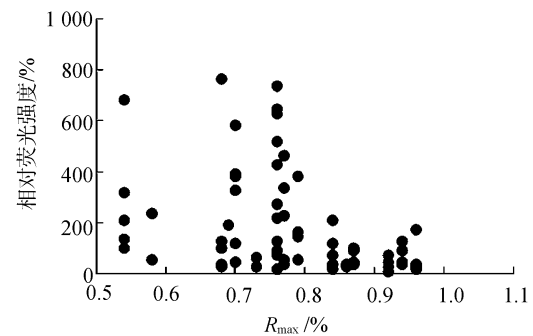
图 2 煤的反射率  $R_{\max}$  与荧光强度的关系

Fig. 2 Relation of vitrinite reflectance and fluorescence intensity of coal

## 2.3 热解生烃潜力

46 个煤岩组分样、煤岩类型样和煤层煤样的热解试验结果如表 4 所示。

表 4 鄂尔多斯盆地煤的热解试验结果  
Table 4 Pyrogeneration results of coal seam in Ordos Basin

样 品	COT /%	$T_{\max}$ /°C	$S_1$ /mg·g <sup>-1</sup>	$S_2$ /mg·g <sup>-1</sup>	$S_3$ /mg·g <sup>-1</sup> ·COT	$I_H$ /mg·g <sup>-1</sup> ·COT	$I_O$ /mg·g <sup>-1</sup> ·COT
镜煤 (5)	69.08~75.50	429~443	4.7~13.2/7.3	186.8~215.0/195.3	5.7~11.1	249~295/271	7~15/13
暗煤 (5)	53.14~73.27	432~442	3.3~10.9/6.0	65.9~175.8/119.7	5.1~9.9	111~245/158	6~18/13
半亮煤(6)	72.98~81.16	432~449	7.1~14.0/10.8	200.0~241.8/221.4	3.3~6.0	270~331/292	4~8/6
半暗煤(6)	65.10~83.51	430~449	5.6~10.3/7.5	158.2~217.0/183.0	2.8~9.9	226~293/254	4~13/8
暗淡煤(6)	46.81~75.50	442~451	3.3~12.8/6.2	83.3~173.6/114.8	2.4~11.0	160~229/192	4~16/9
J <sub>2</sub> (2)	72.55~74.04	432~434	4.8~6.4/5.6	140.6~144.8/142.7	11.5~11.6	189~199/194	15
T <sub>3</sub> (2)	60.49~61.49	440~443	8.8~9.6/9.2	157.8~164.4/161.1	6.9~9.0	260~267/264	11~14/13
P <sub>2E</sub> (2)	68.99~70.83	431	4.8~5.2/5.0	173.4~201.0/187.2	11.1~13.0	251~283/267	15~18/17
C <sub>2E</sub> (5)	63.84~74.45	430~438	3.7~6.9/6.0	149.6~197.2/169.4	7.0~10.0	212~266/243	9~14/12
P <sub>2W</sub> (2)	50.83~51.40	444~448	3.4~4.1/3.8	91.3~102.5/96.9	6.7~7.3	177~201/189	13~14/14
C <sub>2W</sub> (5)	47.64~76.77	446~452	5.4~12.9/8.0	109.6~197.3/137.2	8.3~9.5	192~269/230	12~19/15

注: COT—有机碳;  $T_{\max}$ —最大热解峰温度;  $S_1$ —液态烃;  $S_2$ —气态烃;  $S_3$ —CO<sub>2</sub> 产率;  $I_H$ —氢指数;  $I_O$ —氧指数。

由表 4 看出,煤型母质的有机碳含量一般较高,可达 60%以上;最大热解峰温度( $T_{\max}$ )为 430~450 °C;液态烃( $S_1$ )产率较低,一般小于 10 mg/g;气态烃( $S_2$ )产率一般大于 100 mg/g;氢指数约为 200 mg/g.COT;氧指数 10 mg/g.COT 左右。

### 3 煤的生烃潜力分析

影响煤层生烃潜力的主要因素,不外乎有机质丰度、煤岩组分、煤岩类型、显微组分和煤级等诸因素。

#### 3.1 最大生烃峰温度

通过鄂尔多斯盆地 3 套煤系中煤的热解试验可知,最大生烃峰温度与煤级有关,即随煤级增高、反射率增大,最大热解峰温度增高(图 3)。

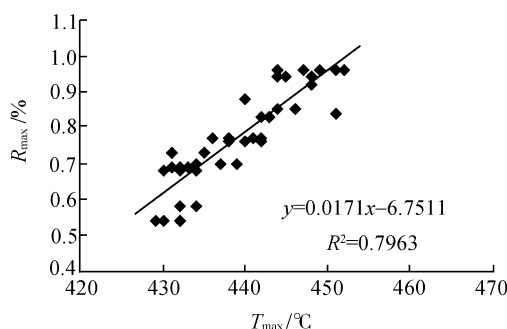


图 3 反射率与最大热解峰温度的关系

Fig. 3 Relation of reflectance and max. temperture of coal pyrolysis

#### 3.2 有机质丰度

煤中有机碳含量反映有机质丰度,它与有机质总量及灰分密切相关。有机总量高则有机碳含量高,灰分高则有机碳含量低(表 2—表 4)。鄂尔多斯盆地 3 套煤系中,盆地东缘石炭—二叠纪和侏罗纪煤的有机质丰度明显高,其生烃潜力也高;盆地西缘石炭—二叠纪煤的灰分高,有机质丰度低,则生烃潜力也低。可见,有机质丰度与生烃潜力成正比(图 4)。

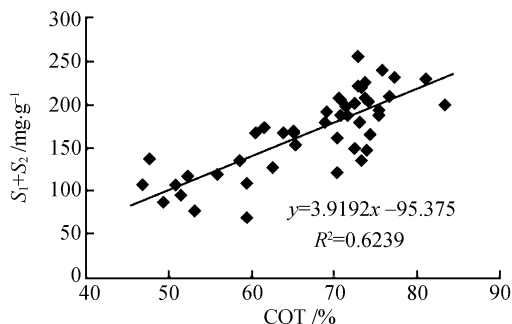


图 4 有机碳含量与生烃潜力的关系

Fig. 4 Relation of organic carbon-hydrocarbon-potential of coal

#### 3.3 煤级

煤的热模拟试验表明<sup>[7]</sup>,煤的生烃潜力受煤级控

制。煤的变质程度影响着烃类的产出数量,如果单纯考虑变质程度,则自然界中煤的生烃潜力随反射率增高而增大。而热解实验认为,煤的变质程度越低,热解产生的烃类数量就越多。鄂尔多斯盆地 3 套煤系的试验结果显示,生烃潜力符合此规律(图 5),只是侏罗纪煤层的镜质组和壳质组含量较低,所以生烃潜力偏低。

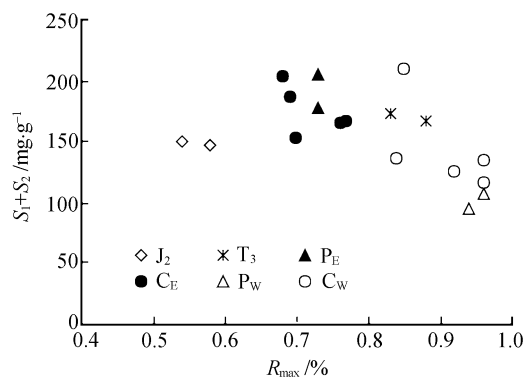


图 5 各煤系煤的生烃潜力比较

Fig. 5 Hydrocarbon potential of coal-measures

#### 3.4 成煤环境条件

前已述及,鄂尔多斯盆地 3 套煤系形成于不同的环境条件,成煤环境控制着煤的性质,影响着煤的生烃潜力。如图 1 所示,湖泊相的三叠纪煤和近海相的石炭纪煤,壳质组及荧光分析得出的富氢组分含量高,具有较高的液态烃产率(表 4);因其镜质组高达 70%,且以无结构镜质体为主,等变质条件下,煤质分析挥发分>36%,氢>5%(表 3),所以生烃潜力达 180 mg/g 左右,明显高于陆相二叠纪和侏罗纪煤(图 5)。

对于同一煤层的煤岩成分和类型样品,若镜煤和半亮煤形成于相对深覆水—潮湿的沼泽环境,镜质组可高达 80%以上,挥发分 40%左右,氢>5%,生烃潜力>200 mg/g;而干燥沼泽环境形成的暗煤和暗淡煤,则镜质组<60%,挥发分 30%左右,氢 4.5%左右,生烃潜力>100 mg/g。

#### 3.5 煤岩组分

通过各煤系煤的肉眼组分样品的热解实验可知,镜煤的液态烃( $S_1$ )产率为 4.7~13.2 mg/g,平均 7.3 mg/g;气态烃( $S_2$ )产率 186.8~215.0 mg/g,平均 195.3 mg/g;氢指数 249~295 mg/g.COT,平均 271 mg/g.COT。这明显高于同一煤层中暗煤的热解产烃量(表 4)。

通过各煤系煤的宏观煤岩类型样品的热解实验可知,半亮煤的液态烃( $S_1$ )产率为 7.1~14.0 mg/g,平均 10.8 mg/g;气态烃( $S_2$ )产率 200.0~241.8 mg/g,平均 221.4 mg/g;氢指数 270~331 mg/g.COT,平均 292 mg/g.COT。这要高于同一煤层中半暗煤的产烃

量,而暗淡煤的产烃量最低(表 4)。

煤的生烃潜力受显微组分控制。三大显微组分中,壳质组富氢产烃量最高,镜质组次之,惰质组最低;低煤级阶段,壳质组有少量液态烃产出<sup>[7]</sup>。煤型有机质属于Ⅲ型成烃母质,煤中壳质组质量分数一般很低(<5%),产生液态烃的数量有限,只有在壳质组达到一定量(>10%)时,才对生烃有明显的贡献作用。鄂尔多斯盆地 3 套煤系中煤的富氢组分质量分数与液态烃产率关系不明显(图 6)。

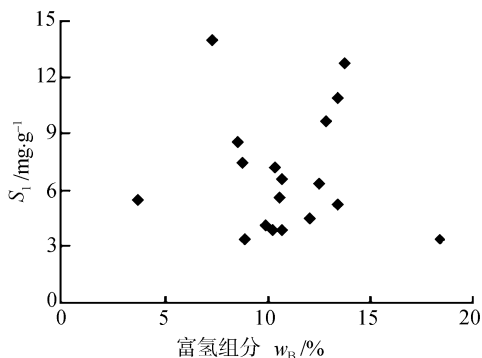


图 6 富氢组分与液态烃产率的关系

Fig. 6 Relation of maceral hydrogen-rich and liquid hydrocarbon productivity

镜质组是煤中的主要组分,是产生气态烃的重要母质,统计结果表明,镜质组含量与生烃潜力表现出很好的线性关系(图 7),如三叠纪和盆地东缘石炭—二叠纪煤的镜质组含量较高,其生烃潜力也高(表 4)。

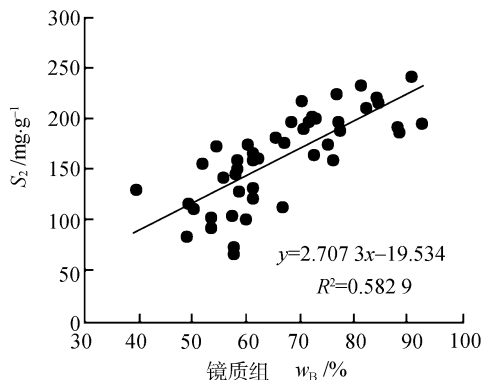


图 7 镜质组与生烃潜力的关系

Fig. 7 Relation of vitrinite content and hydrocarbon potential of coal

#### 4 成烃母质类型

煤型有机质是复杂的大分子混合物,不同组成产烃潜力差别很大,决定了成烃母质类型的复杂多样性。据本区煤的热解参数分析,煤型母质的液态烃产率多在 4~9 mg/g 之间;气态烃产率多为 100~220 mg/g;氢指数为 180~300 mg/g.COT;氧指数在 20 mg/g.COT 以下。从母质类型上,都落在Ⅲ型范围内。

从氢氧指数表征的母质性质看,半亮煤和镜煤的母质较好,半暗煤次之,暗煤和暗淡煤较差(图 8)。不同煤系的煤层煤样中,三叠纪和盆地东缘二叠纪的母质性质较好,盆地东西缘石炭纪的次之,盆地西缘二叠纪和侏罗纪的较差(图 9)。综合考虑成煤时代、煤岩和热解参数特征,成烃母质类型的划分如表 5 所示。

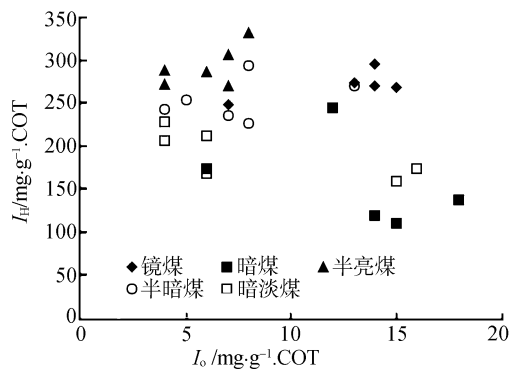


图 8 不同煤岩成分及类型的氢氧指数变化

Fig. 8 The hydrogen and oxygen index of lithotype and macrolithotype

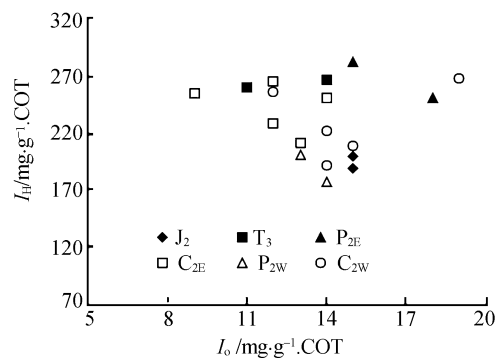


图 9 不同煤系煤的氢氧指数变化

Fig. 9 The hydrogen and oxygen index of different coal-measures

表 5 鄂尔多斯盆地煤系成烃母质类型划分

Table 5 Hydrocarbon precursor types of coal-measures in Ordos Basin

母质类型	样 品	镜质组 $w_B$ / %	$S_1 + S_2$ / mg·g <sup>-1</sup>	$I_H$ / mg·g <sup>-1</sup> .COT	$I_O$ / mg·g <sup>-1</sup> .COT	CP/COT / %
Ⅲ <sub>1</sub>	T <sub>3</sub> P <sub>2E</sub> 半亮煤、镜煤	90~70	255~200	330~250	4~8	30~20
Ⅲ <sub>2</sub>	C <sub>2E</sub> C <sub>2W</sub> 、半暗煤	70~50	225~100	300~200	4~15	25~18
Ⅲ <sub>3</sub>	P <sub>2W</sub> J <sub>2</sub> 暗煤、暗淡煤	<50	100~70	200~100	4~18	20~10

注: CP—有效碳; CP/COT—有效碳与有机碳比值(降解率)。

(下转第 11 页)

为飞来峰构造,  $F_5$ 、 $F_6$  断层产生构造负反转。

由于井田推覆构造下埋藏有大量的下二叠统童子岩组煤系, 因此, 在井田推覆体下找煤, 除应特别注意滑覆构造造成的煤层缺失情况外, 还应注意寻找倒转向斜中次级向斜部位的煤炭资源。因为次级向斜部位煤炭保存条件较好, 所以, 该部位也是井田推覆断层下找煤的主要方向。闽西南地区推(滑)覆构造广泛发育, 其造成煤层重复与缺失的现象也广泛存在。因此, 在闽西南地区找煤应特别注意地层重复与缺失情况, 区域隐伏煤田的预测应采用物探与钻探相结合的方法<sup>[18]</sup>。

## 参考文献

- [1] 王仁山. 略论福建大田含煤区推覆体下找煤[J]. 能源与环境, 2006 (6): 20-21.
- [2] 关玉祥, 黄耀明, 陶建华. 初论福建推覆构造[J]. 福建地质, 1988, 8 (1): 14-34.
- [3] 李培军, 侯泉林, 孙枢, 等. 闽西南地区早三叠世溪口组深水沉积及其演化[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(3): 219-225.
- [4] 李培军, 侯泉林, 李继亮, 等. 闽西南地区下三叠统溪口组中的孤立滑塌岩块及其地质意义[J]. 科学通报, 1996, 41(24): 2250-2253.
- [5] 李培军, 侯泉林, 李继亮, 等. 闽西南地区早三叠世溪口组浊流沉积[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 50-57.
- [6] 都洵, 张永康. 全国地层多重划分与对比研究: 东南区区域地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [7] 王文杰, 王信. 中国东部煤田推覆、滑脱构造与找煤研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [8] 黄廷淦, 揭育金. 福建明溪盆地成因探讨[J]. 福建地质, 1999, 18(1): 1-5.
- [9] 毛建仁, 陶奎元, 陈三元, 等. 闽西南花岗质岩浆作用与成矿[J]. 火山地质与矿产, 1998, 19 (4): 311-320.
- [10] 毛建仁, 陶奎元, 谢芳贵, 等. 闽西南地区成岩成矿作用与构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3): 329-326.
- [11] 舒良树, 周新民. 中国东南部晚中生代构造作用[J]. 地质论评, 2002, 48(3): 24-260.
- [12] WU C L, ZHOU J Y, WANG G F, et al. Tectonic-sedimentary history of southeastern coast region, China: a synthesis [J]. Journal of China University of Geosciences, 1995, 6 (2): 154-169.
- [13] 毛建仁, 胡青, 许乃政, 等. 闽西南地区早中生代汤泉岩体同位素年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 351-371.
- [14] 毛建仁, 陶奎元, 李寄喁, 等. 闽西南地区中生代花岗闪长质岩石的特征及其构造演化[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(2): 135-142.
- [15] 毛建仁, 许乃政, 胡青, 等. 闽西南地区中生代花岗闪长质岩石的同位素年代学、地球化学及其构造演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(1): 12-20.
- [16] 赵海玲, FRED A F, HANG S C, 等. 东南沿海地区第四纪大陆岩石圈地幔的特征[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 347-352.
- [17] 赵海玲, 狄永军, 刘振文, 等. 东南沿海地区新生代火山作用和地幔柱[J]. 地质学报, 2004, 78(6): 781-788.
- [18] 陈开彪. 福建省大田县广平含煤区推覆构造特征及找煤预测[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(2): 16-18.

## (上接第5页)

由此, 鄂尔多斯盆各煤系煤层煤样的成烃母质类型可分为 3 级: 三叠纪和盆地东缘二叠纪的半亮煤、镜煤为  $III_1$  型; 盆地东西缘石炭纪的半暗煤为  $III_2$  型; 盆地西缘二叠纪和侏罗纪的暗煤、暗淡煤为  $III_3$  型。

## 参考文献

- [1] 刘文汇, 张殿伟, 高波, 等. 天然气来源的多种途径及其意义[J]. 石油与天然气工业, 2005, 26(4): 393-401.
- [2] 邱中建, 方辉. 中国天然气产量发展趋势与多元化供应分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(8): 1-5.
- [3] 戴金星, 夏新宇, 卫延召. 中国天然气资源及前景分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 1-8.
- [4] 戴金星, 宋岩, 张厚福, 等. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 57-85.
- [5] 王双明. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996: 208-253.
- [6] 张泓, 何宗莲, 晋香兰, 等. 鄂尔多斯盆地构造演化与成煤作用[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 53-58.
- [7] 李明潮, 张伍侨. 中国主要煤田的浅层煤成气[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 120-139.