

鄂尔多斯盆地延安组煤有机岩石学研究

姚素平 张景荣 王可仁 栾 琴

摘 要 鄂尔多斯盆地侏罗纪延安组煤系地层可否成为该盆地另一套油源岩的问题, 历来存有争议。系统的煤岩和有机岩石学分析表明: 煤中倾油性的壳质组分含量低, 基质镜质体的类型也不利于生油, 因此, 延安组煤系有机质不大可能形成具有工业价值的煤成油藏。

关键词 有机岩石学 鄂尔多斯盆地 煤成油

中图分类号 P618.11 **文献标识码** A

Organic Petrology Study on the Yan'an Formation Coal Measures in Ordos Basin

YAO Su-ping¹ ZHANG Jing-rong¹ WANG Ke-ren² LUAN Qin²

1(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

2(Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing

Petroleum Exploration Bureau, Changqing, Gansu 745100)

Abstract

It is still a disputing problem whether the Jurassic coal measure are the another oil source rock or not. Some coal petrologists believe that there may be oils from coal based on the higher content of liptinites contained in it. Others don't agree because the chemical structure of crude oils can't be related to maceral composition dominated by liptinites from coals. In this paper, the three sites, respectively Lingwu-yanchi area lying in the northern basin, Longdong area in the middle basin and HuanLing-Tongchuan area in the southern basin, are selected to collect coal samples. The coal macrotype, microtype, macerals and their oil-generating potential are studied in detail and then discussed. The research results indicate that the principal macerals are vitrinite and inertinite in the coal of Yan'an Formation, and the coal contains liptinites less than 5% and its petroleum potential will be very low when it only depends on the minor content of liptinites it contains. Thus, it is very important if vitrinite group became oil-pron macerals, especially desmocollinite. The desmocollinites can be divided into three subtypes A, B and C according to the genesis and hydrocarbon-generating nature, only desmocollinite B and C have moderate to high petroleum potential, whereas desmocollinite A is not oil-prone maceral which is the main type in desmocollinite. In general, the coal of Yan'an Formation is of poor petroleum potential. However, the cannel

coal and bright coal contain the large amount of sporinites in the middle and south of the

sporinite corresponds to 0.9% ~ 1.1% vitrinite reflectance, whereas above coal reflectance is only 0.6% ~ 0.7% and bright coal volume is less than 2% in all coals. The cannel coals and bright coals may generate minor amount oil. So the Yan'an Formation coal measure can't become the commercial oils source rocks in Ordos basin.

Key words organic petrology oils derived from coal Ordos basin

1 前言

对鄂尔多斯盆地侏罗系延安组含煤岩系的煤岩学特征和聚煤规律,前人已作过许多研究工作^[1~4],特别是“七五”重点科技攻关项目“鄂尔多斯盆地聚煤规律和煤炭资源评价”课题对鄂尔多斯盆地周缘延安组煤岩学特征进行了较为全面和系统的描述和总结,着重于宏观定性描述和显微镜研究,认为该盆地延安组煤以富含惰性组为特征,壳质组仅在某些煤分层和局部地区煤中富集,但缺乏对盆地中部煤的描述。对延安组煤的生油潜力的评价,主要集中在盆地南部黄陵-铜川地区,由于南部煤矿如下石节煤矿、崔家沟煤矿等在开采延安组煤过程中,常有出油现象,一些学者试图从煤岩学和有机地球化学角度阐述煤的生油潜力及与煤矿中石油的成因关系。煤岩学研究认为,延安组某些煤分层具有高壳质组含量,因而具有较高的生油潜力,黄陵—铜川地区煤矿中的石油为煤成油。然而,有机地球化学研究结果是否定的,认为延安组煤与煤矿中的石油不构成成因关系^[5]。为了进一步认识延安组煤的有机岩石学特征与生油潜力,本文选择了盆地北部灵盐地区、中部陇东地区和南部黄陵—铜川地区延安组的煤,进行了详细的有机岩石学分析,采用宏观研究、显微研究和超显微研究相结合的方法,探讨延安组煤的显微组分组成、数量和生油潜力,为正确评价延安组煤的生油问题提供依据。

2 地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台西缘,横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省(区),其地理位置包括黄河河套以南、渭河平原以北、吕梁山以西,贺兰山与六盘山以东的广大区域,地貌为西高东低的黄土高原,面积近30万平方公里,沉积岩厚度一般为4 000 ~ 6 000 m,含有三个时代的含煤地层,即石炭-二叠系、三叠系和侏罗系,其中侏罗系延安组的煤资源量高达5 000 ~ 6 000亿吨,是世界上特大型煤田之一。该盆地同时又是开发历史悠久的含油气盆地,主要生、储层位为三叠系和侏罗系,盆地中部气田亦为我国最大的天然气田,这种集油、气、煤于一体的大型内陆拗陷盆地在世界各个时代的沉积盆地中是十分少见的。

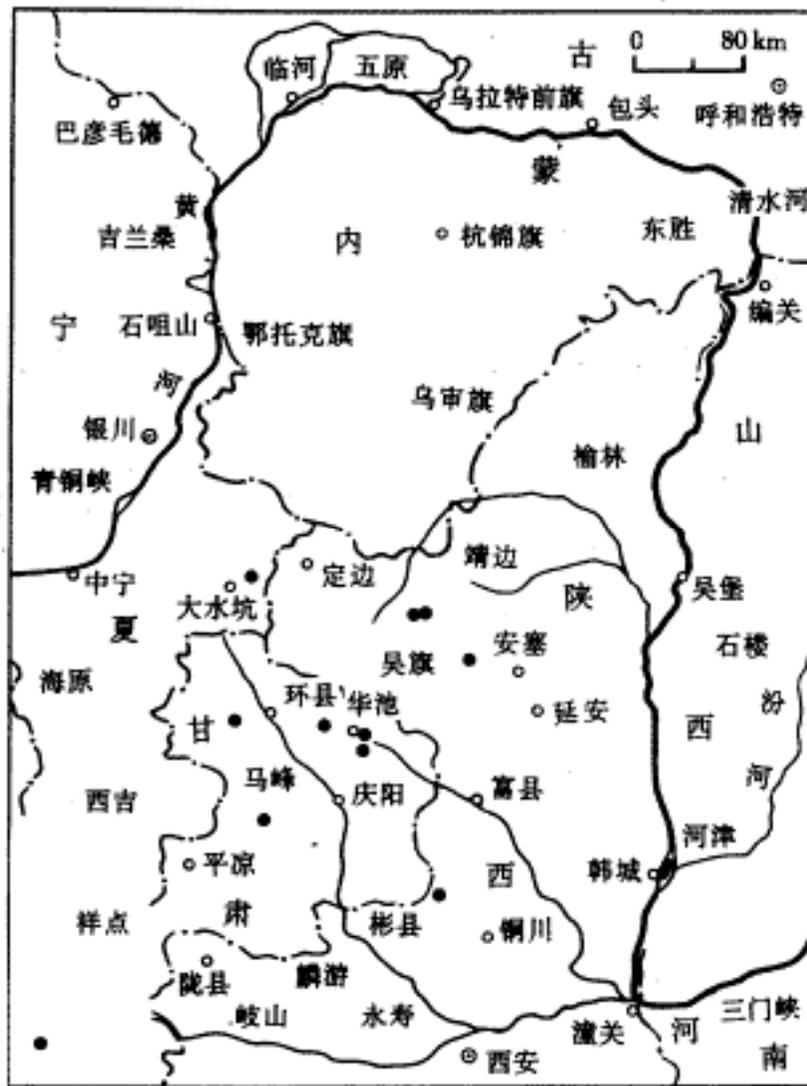


图1 研究区域及取样位置

Fig.1 The study area and sampling locations

表1 宏观煤岩类型含量表(%)

Table 1 The data of the macro-coal petrologic types contents in the Ordos basin

地 点	光亮型煤	半亮型煤	半暗型煤	暗淡型煤	夹 矸
灵新煤矿	3.12	18.75	65.6	12.5	0.03
磁窑堡煤矿	3.13	21.86	53.12	18.75	3.14
甜水堡煤矿	0.6	26.3	10.2	59.6	3.3
店头煤矿	5.7	19.2	41	31.5	2.6
焦坪煤矿	1.4	28.2	37.7	32.4	0.3

盆地的地层发育特征与华北地台一致，基底为前震旦亚界的一套老变质岩系，其

始接受沉积，发育了石炭-二叠纪海陆交替相含煤地层和厚度很大的中生代地层，最上部为新生代地层，覆于老地层之上。

侏罗系延安组是鄂尔多斯盆地最重要的赋煤地层，在盆地内发育齐全，分布范围广，保存较好。该含煤岩系为一套湖泊三角洲—河流沉积，其含煤性总的表现为煤层层数多，总厚度大，煤炭储量丰富。其中，盆地北部煤系厚度较大，煤层多且厚，一般>20 m，煤层稳定性亦较好。新召、乌审、东胜等为北部地区的富煤中心，盆地西缘(东经107°20'以西)，煤系厚且含煤层数多、厚度大，富煤中心展布在灵盐地区，一般含煤>22 m，往南至环县、庆阳地区，煤层层数减少，厚度变薄，但在盆地南缘平凉、华亭，铜川、黄陵地区分别出现局部的富煤地带，煤厚10~30 m；盆地南部、东部含煤性变差，煤系厚度逐渐变小，煤层层数减少，厚度变薄。在大理河以南，葫芦河以北，吴旗以东地区无煤沉积。

3 延安组有机岩石学特征与生烃潜力

3.1 侏罗系延安组显微煤岩类型与显微组分构成特征

3.1.1 宏观煤岩特征

侏罗系延安组煤的宏观煤岩类型以半暗煤和暗淡煤为主，约占60%~70%，另具少量半亮煤和光亮煤。从平面上看，北部灵盐地区以半暗煤和暗淡煤占绝对优势，且多在煤层底部分布有半亮煤和光亮煤。中部陇东地区，煤的宏观类型以半暗煤及半亮煤为主，煤层由下至上丝炭含量有减少的趋势，表现出上半部以半亮煤为主，下半部以半暗煤为主，沿盆缘带往北向甜水堡直至灵武煤田可采煤层增多，薄厚煤层相间，往往是厚煤层丝炭含量高为半暗煤，而薄煤层多为半亮型煤层。盆地南缘黄陵、店头及焦坪煤矿煤的宏观类型仍以半暗煤和暗淡煤为主，垂向上显示下部偏亮，以半亮型煤和光亮型煤为主，夹少量半暗煤，中部以暗淡型煤为主夹半暗型煤薄层，上部则以半暗型煤和暗淡型煤互层为特征。总之，煤的宏观煤岩类型以盆地边缘偏暗、盆地中间偏亮为特征。

3.1.2 显微组分组成及显微煤岩类型

延安组煤的显微组分总的特征是壳质组含量低，而惰性组含量较高。从平面上看，灵盐地区惰性组极为发育，含量一般在30%~50%之间，成分由粗粒体、菌类体、丝质体和半丝质体组成，多呈条带状、凸镜状，壳质组含量较少，一般<3%，主要为角质体和小孢子体，其中角质层非常薄，呈线状。盆地中部陇东地区，镜质组成为占优势的显微组分，一般含量都在60%以上，而且以均质镜质体为主，其次是基质镜质体；惰性组含量基本上都在25%以下，壳质组含量变化很大，极薄煤层或煤线中壳质组含量高，煤岩类型多为半亮型煤。而中厚煤层壳质组含量一般低于3%，煤岩类型多为暗淡型煤。

表2 鄂尔多斯盆地延安组煤显微组分组成

Table 2 Maceral group statistics data of some Jurassic coal samples in the Ordos basin

取样地区	号	样号	剖面	层位	/m	有机显微组分/%			矿物杂质 /%	反射率 /%
						镜质组	惰性组	类脂组		
灵盐地区	1	F96-15	新王44井	Y ₂	1755 ~ 1762	42.84	54.96	0.6	1.6	0.58
	2	F96-16	新王44井	Y ₂	1775.5 ~ 1778.0	47.42	41.38	5.8	5.4	0.61
	3	F96-17	新王44井	Y ₄	1804 ~ 1805.5	57.75	22.45	7.6(煤线)	12.2	0.65
	4	F96-18	新王44井	Y ₅	1856 ~ 1857	71.14	25.26	2.4	1.2	0.59
	5	F96-19	新王44井	Y ₆	1859 ~ 1863	47.33	45.48	5.6	1.6	0.62
	6	F96-20	新王44井	Y ₇	1880.5 ~ 1884.5	63.68	33.92	0.6	1.8	0.66
	7	F96-21	新王44井	Y ₉	1960.5 ~ 1962.0	71.34	26.66	2.0		0.68
	8	王1	新王33-1井	Y ₆	1857.5 ~ 1857.6	52.2	0.2	2.2	45.4	0.69
	9	王6	新王33-1井	Y ₆	1861.4 ~ 1861.5	20.6	20.2	7.8(煤线)	51.2	0.53
	10	冯1	冯纪沟煤矿	Y ₈₋₉		72.6	26.8	0.4	0.2	0.63
	11	灵1	灵新煤矿	Y ₈₋₉		74.0	22.8	2.6	0.6	0.69
	12	灵9	灵新煤矿	Y ₈₋₉		65.6	32.0	2.4		0.37
	13	灵14	灵新煤矿	Y ₈₋₉		53.2	44.0	2.4	0.4	0.42
	14	灵2	灵新煤矿	Y ₈₋₉		45.06	53.74	微量	1.2	0.34
	15	磁2	磁窑堡煤矿	Y ₁₋₃		90.6	9.4	微量		0.40
	16	磁4	磁窑堡煤矿	Y ₁₋₃		62.75	34.27	2.6	0.4	
		平均值				58.3	38.3	3.4(2.0)		
陇东地区	17	庆69-3	庆69	Y ₄₊₅	1548	66.4	22.0	8.6	3.0	0.73
	18	庆69-4	庆69	Y ₄₊₅	1549	79.6	0.2	17.2	3.0	0.61
	19	庆69	庆69	Y ₈₊₉	1629	53.04	31.96	0.4	14.6	0.69
	20	庆66-2	庆66	Y ₉	836	65.7	26.2	6.4	1.7	0.69
	21	F96-225	剖30-2	Y ₇	1304	64.6	29.6	5.4	0.4	0.70

	22	F96-226	剖30-4	Y ₈	1332	65.8	24.6	9.4	0.2	0.72
	23		中97-7	Y ₁₀	1400 ~ 1402	88.6	10.0	1.4		0.46
	24	甜1	甜水堡煤矿	Y ₁₋₃		92.2	1.2	6.4	0.2	0.55
		平均值				72.0	18.0	6.9(4.9)		
陕西黄陵—铜川地区	25	黄2	双龙煤矿	Y ₁₀		72.2	17.4	10.4		0.73
	26	黄5	店头煤矿	Y ₁₀		37.1	12.2	0.4	50.3	0.73
	27	黄7	店头煤矿	Y ₁₀		69.6	27.8	2.4	0.2	0.75
	28	黄8	420煤矿	Y ₁₀		59.8	33.4	6.8		0.69
	29	黄9	420煤矿	Y ₁₀		50.0	35.0	15.0		0.69
	30	焦1	焦坪煤矿	Y ₁₀		72.4	24.4	3.8		0.46
	31	焦2	焦坪煤矿	Y ₁₀		50.6	44.2	5.2		0.57
	32	崔1	崔家沟煤矿	Y ₁₀		30.5	65.2	3.8	0.5	0.5
	33	崔2	崔家沟煤矿	Y ₁₀		60.6	30.0	5.8	3.6	0.55
	34	张5	张5井	Y ₉		51.0	36.4	4.6	8	
		平均值				55.8	33.2	4.9(3.8)		

陕西黄陵侏罗纪煤田中镜质组含量仍是优势显微组分，但煤中镜质组以基质镜质体为主，其次为均质镜质体，惰性组含量店头要低于焦坪矿区，壳质组含量变化较大，但多数在5%以下，其中黄陵烛煤孢子体含量在10%以上。

黄陵地区的烛煤主要为暗淡煤(俗称：“砖炭”、“油炭”)，发育在鲁寺至寺湾一带，显灰黑色，不染手，光泽暗淡，断口平整，细腻，质轻而硬，结构均一，燃烧时焰长烟浓。烛煤的显微煤岩类型以微三合煤占优势，单组分的显微煤岩类型极少。

灵盐地区煤层显微煤岩类型主要以微亮煤、微惰煤和微镜惰煤为主，次为微壳煤，微三合煤和微矿化煤，从表5中可看出，该区壳质组和矿物质含量较多的类型含量极低，暗淡型煤和半暗型煤分层的显微煤岩类型主要是微惰煤和微镜惰煤，由此可见光泽暗淡的煤分层产出的原因是惰性组含量偏高所致。陇东地区则以微镜煤、微镜惰煤为主，往南至陕西黄陵、焦坪一带，微惰煤含量增高，其含量和微镜煤相当或略高于微镜煤，微孢子暗煤含量在黄陵地区明显增高，主要与烛煤有关。总之：盆地中部庆阳华池地区微镜煤含量要高于其他两个地区，而黄陵地区的微孢子暗煤含量高也有别于盆地中北部地区。

表3 鄂尔多斯盆地延安组煤亚显微组分构成

Table 3 Maceral statistics data of some Jurassic coal samples in the Ordos basin

序号																藻类组
	结构镜质体	均质镜质体	基质镜质体	团块镜质体	镜屑体	半丝质体	丝质体	惰屑体	粗粒体	微粒体	菌类体	角质体	孢子体	树脂体	沥青质体	藻类体
1		11.74	26.21	4.50	0.39	20.73	3306	1.17				0.2	0.4			
2		27.26	18.03	2.13	微量	19.54	16.87	4.08	0.89			3.8	2.0			
3		13.57	36.48	6.90	0.80	12.99	5.61	3.05	0.80			4.2	3.2	0.2		
4		39.52	24.49	5.01	2.12	11.95	9.45	3.28	0.58			0.4	1.6		0.4	
5		23.05	20.75	2.97	0.56	23.39	18.93	3.16				2.0	3.2		0.4	
6		28.05	33.28	3.35	微量	16.76	13.61	3.55					0.6			
7		41.84	26.36	3.14	微量	19.01	6.08	1.57					2.0			
8		52.0			0.20			0.2					0.6		1.6	
9		14.5	4.5		1.6	8.2	9.2	2.8				0.2	4.8	0.4	2.4	
10	1.0	30.3	36.7		4.6	10.0	8.4	6.6	1.4		0.4	0.2			0.2	
11		27.37	42.63		4.0	11.4	6.6	4.8				1.0	1.0		0.6	
12		10.76	49.24		5.0	17.2	8.2	4.6		2.0		0.8	0.8	0.8		
13	1.0	14.27	32.93		5.0	24.2	15.2	4.0		0.6		0.4	0.4		1.6	
14		4.42	38.07	2.57	微量	23.51	27.66	2.57				微量	微量			
15			69.67	20.6	微量	5.4	3.8	0.2				微量	微量			
16		25.01	44.52	4.98	8.96	12.95	0.6					1.2		1.39		
17		30.71	31.69		4.0	11.0	2.0	8.8		0.2			4.4		4.2	少量
18		51.2	28.4		微量	0.2						8.2	5.8		3.2	
19		32.83	18.68	1.53	微量	23.63	7.82	0.51				0.2	0.2			
20		28.45	34.15		3.1	6.8	11.2	7.6			0.6	0.2	3.8	0.2	2.2	
21	0.5	35.43	20.47		8.2	14.0	7.2	8.4				0.2	3.4	0.2	1.6	
22		46.2	14.2		5.4	13.6	5.0	5.8		0.2		1.8	4.0		3.6	
23	10.0	55.2	21.0		2.4	2.0	3.4	4.2	0.2		0.2		0.8	0.6		
24		48.8	43.2		0.2	0.2	0.6	0.4				0.2	4.0		2.2	

25	10.0	19.9	19.5		22.8	3.8	6.8	6.8				0.8	3.2		6.4
27		30.74	31.46		7.4	12.8	11.4	3.4			0.2	0.2	1.6		0.6
28	8.8	25.53	21.87		3.6	17.2	13.0	3.2					3.2		3.6
29			50.0					35.0				0.5	10.5		4.0
30		23.31	44.69		4.4	13.8	3.0	6.2		1.4		0.6	1.6	0.6	1.0
31		23.08	26.92		0.6	34.2	6.6	1.6		1.8			3.0		2.2
32	0.8	10.54	17.16		2.0	42.2	19.6	3.4				0.4	2.0		1.4
33		17.3	37.5		2.2	23.2	2.2	4.6					2.8		3.0
34		26.8	20.0		4.2	27.2	5.8	3.4					3.2	0.2	1.2

3.2 煤系有机质的岩石学特征与煤成液态烃生成

3.2.1 煤中类脂组含量、赋存形式与煤的生烃潜力

鄂尔多斯盆地延安组煤系富含镜质组和惰性组，贫壳质组。壳质组仅在延安组某些极薄煤层或煤线中含量较高，在中厚煤层中含量甚微。特别是灵盐地区，延安组煤中的壳质组含量很低，平均2.9%，如果将煤线中显微组分定量结果忽略不计(煤线本身不具有评价价值)，灵盐地区煤的壳质组平均含量只有2%(表2)。陇东和黄陵—铜川地区，煤中壳质组含量有所提高，特别是一些薄煤层和煤线中壳质组含量可达7.8%~17.2%，黄陵地区的烛煤壳质组含量也可达10%以上，从所分析的样品来看，陇东地区延安组壳质组平均含量为6.9%，但如果将煤线或极薄煤层中煤定量结果去掉，则壳质组平均含量不足5%；黄陵—铜川地区延安组煤中壳质组平均含量为4.9%，若不计烛煤，则煤中壳质组含量仅有3.8%。和世界其它煤成油盆地相比，鄂尔多斯盆地延安组煤中壳质组含量明显偏低。

表4 延安组煤显微组分定量统计表

Table 4 Maceral statistics data of Yan'an Formation coal

地 区	显微组分含量/%				Ro/%
	V	I	E	HI mgHC/g TOC	
灵盐地区	$\frac{20.6 \sim 71.4}{58.3}$	$\frac{22.8 \sim 55.0}{38.3}$	$\frac{0.4 \sim 5.8}{2.9}$	$\frac{50 \sim 150}{80}$	0.56
陇东地区	$\frac{53 \sim 92.2}{72.0}$	$\frac{1.2 \sim 32.0}{18.0}$	$\frac{0.4 \sim 17.2}{6.9}$	$\frac{70 \sim 200}{144}$	0.6~0.9
黄陵—铜川地区	$\frac{30.5 \sim 72.4}{55.8}$	$\frac{12.2 \sim 65.2}{33.2}$	$\frac{0.4 \sim 10.4}{4.9}$	$\frac{50 \sim 150}{100}$	0.5~0.7

表5 延安组煤显微煤岩类型含量(体积)

contents in Yan'an Formation coals

地区	单组分			双组分				三组分			微矿化煤
	微镜煤	微惰煤	微壳煤	微镜惰煤I	微镜惰煤V	微暗煤	微亮煤	微暗亮煤	微亮暗煤	微镜惰壳煤	
灵新煤矿	30.17	26.7	0.1	14.9	8.5	0.9	2.8	-	-	7.7	
磁窑保煤矿	28	42	0.1	18.6	3.5	1.3	0.4	-	-	4.2	2.2
甜水堡煤矿	26.7	40.0	0.08	10.5	7.0	2.6	5.2	-	-	3.7	4.22
店头煤矿	23.7	25.4	0.1	8.4	9.0	7.7	1.1	13.3	5.6	0.2	5.5
焦坪煤矿	20.5	17.7	-		36.7	4.7	1.8	-	9.4		9.2
420煤矿 烛煤	0.2	0.2	-		7.8	0.2	5.6		76.4		9.6

根据类脂组分的含量我们可以粗略地估算一下煤系的生烃能力。Saxby等的研究结果表明,〔6〕对于壳质体,从未熟到过成熟阶段,可有78%转化为沥青产物,如果将类脂组平均沥青产率定为70%,若煤中有5%~15%的类脂组分,则其沥青产率可达3.55%~10.5%;假如沥青产物中总烃占2/3,则总烃潜量可达23.3~69.5 mgHC/g。若煤的有机碳含量平均为75%,则煤的单位质量有机碳产率为31~92 mgHC/gTOC。Powell把煤和含煤岩系中每克有机碳的液态烃产率达30~80 mg才能作为形成有工业价值的煤成油藏的烃源层,也就是煤中的壳质组含量至少达5%以上,黄第藩等也将壳质组含量大于5%作为煤能形成有经济价值的必要条件之一〔7〕。据此标准,鄂尔多斯盆地延安组绝大部分煤均达不到这一标准,一些薄煤层和煤线可能是良好的烃源层,但他们不是煤系地层的主体,对整个煤系的生烃潜力影响不大。此外黄陵地区的烛煤,铜川地区某些煤中光亮煤分层也达到了这一标准,但如前所述,光亮型煤分层在整个煤层中所占比例很小,而烛煤中的壳质组主要为孢子体,孢子体在 $R_o=0.6\%$ 以后才进入生油门限,大量生油阶段在 $R_o=0.9\%$ 以后,而上述地区煤的反射率变化为0.5%~0.7%,因此该区孢子体处于低熟阶段,尚未进入大量生油时期,生成的液态烃的量较少。因此,如果将壳质组作为唯一的生油显微组分,那么,总体上讲,鄂尔多斯盆地延安组煤系地层是属于差生油岩,局部薄煤层或煤线能生成少量的石油,但不足以构成油藏。

3.2.2 基质镜质体的岩石学特征及其生烃性

壳质组是煤成油重要的显微组分,世界上一些煤成油盆地煤中壳质组含量就相当高,如加拿大马更些盆地煤中树脂体含量可达15%,但情况并非全部如此,我国的吐—哈盆地、准噶尔盆地以及澳大利亚的库珀盆地等煤成油盆地中壳质组并不十分发

育，大量产出的是基质镜质体，其中吐—哈盆地和准噶尔盆地侏罗系煤中基质镜质体

质体是吐—哈盆地和准噶尔盆地最主要的也是贡献最大的煤成油显微组分，M.Smyth也认为吉普斯兰盆地大部分石油的主要母源是基质镜质体〔8〕。

鄂尔多斯盆地延安组煤系地层中基质镜质体相当发育，一般20%~60%，平均40%左右，如果基质镜质体能形成一定数量的液态烃，那么鄂尔多斯盆地延安组煤系地层将是一个很好的油源层。但地球化学结果是否定的。实际上，基质镜质体是一种非常不均一的显微组分，基质镜质体的成因，化学构成和生烃性均存在着明显的差异。根据基质镜质体的岩石学特征、成因及生烃潜力可将其划分为A、B、C三种类型。

对基质镜质体的岩石学特征及类型划分的研究，本文采用了荧光显微镜和透射电子显微镜相结合的方法，对光学显微镜下所观察到的基质镜质体的特征、结构和差异进一步在透射电镜下区分，并研究其成因。

基质镜质体在普通光学显微镜下可划分成三种类型，即基上无荧光或显示极弱的暗褐色荧光的基质镜质体A，具有中等荧光强度并发浅黄色荧光的基质镜质体B和发比较均匀的褐色荧光的基质镜质体C；前两者产于腐殖煤中，基质镜质体A含有较多的惰屑体，基本上不含有可分辨的壳屑体；基质镜质体B则含有大量的壳屑体。基质镜质体C主要产于腐殖腐泥煤中，在VRo=0.5%时，兰光照射下表现为明显的荧光正变化，它与基质镜质体B的区别是荧光强度分布比较均匀，且含有的腐殖碎屑很少，而基质镜质体B在荧光下表现得不均匀，含有的腐殖碎屑较多，碎屑的形状各异；基质镜质体C有时和基质状的沥青质体较难区分，其反射光下的色调、反射率、相对荧光强度及其正变化特征均介于基质镜质体和沥青质体之间，两者在产状上常显示混生，并见有逐渐过渡的现象，和Mukhupndyay等定义的基质镜质体/沥青质体过渡组分的特征相似。



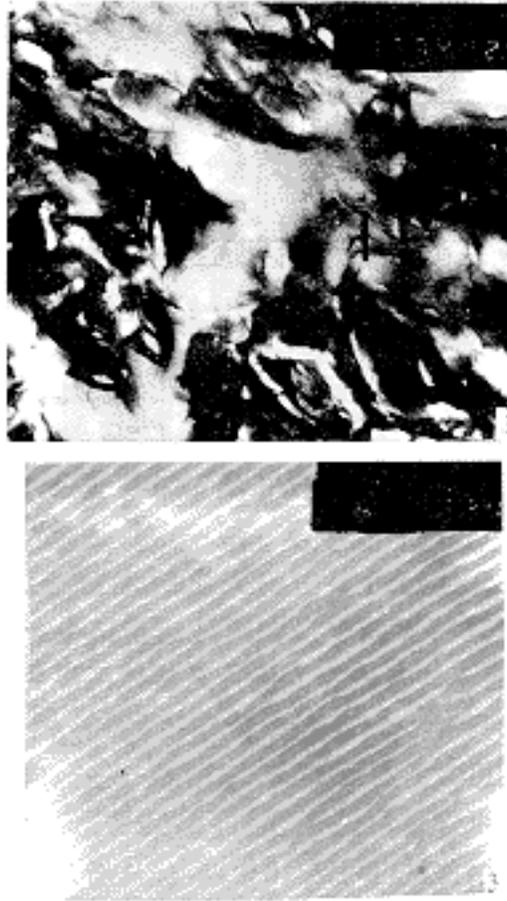


图2 基质镜质体的TEM图像

基质镜质体A，凝块状，絮状，灵新煤矿， $\times 1700$ ；
基质镜质体B，含大量超微类脂体，庆阳， $\times 33000$ ；
基质镜质体C，直罗张5井， $\times 33000$

Fig.2 The desmocollinites photographs under TEM
desmocollinite A, Linxing coal mine, $\times 17000$ ；
desmocollinite B, QingYang, $\times 33000$ ；
desmocollinite C, Zhang 4 well, $\times 33000$

基质镜质体A的TEM图像表现为它是由黑色的不均匀的颗粒所组成，这些灰黑色的颗粒边缘形态不规则，且十分模糊，有时呈絮状或显示为脆性的棱角状黑色颗粒，并和凝块状无定形相似，中间穿插有很少量的电子云密度低的白色类脂组成成分(图2)，说明这种基质镜质体为高等植物的腐殖基质，其原始物质主要来源于木质素和纤维素等，并且经过了非常强烈的分解。基质镜质体B在TEM图上，除显示一部分灰黑色物质外，还见有较多的呈各种形态和大小的白色类脂物质，说明这种基质镜质体含有不同级别的显微—亚微—超微类脂组碎屑。基质镜质体C的TEM图像也有两种电子云密度分布，以灰黑色为主的高电子云密度的基质，中间穿插着许多亚微至超微粒级的细微的白色纹层，并且均匀分布和定向排列，它和基质镜质体B的区别十分明显，基质镜质体B中的白色类脂物质大小不一，形态不规则，分布不均匀，和基质镜质体C的有序结构形成鲜明对照。

TEM下观察到的不同基质镜质体的特征说明了在光学显微镜下对基质镜质体的划

分是比较合理的，因为它们在TEM下具有十分明显的差异。

镜下多数不具有荧光特征，TEM下，超微类脂体仅在某些光亮型煤分层中见到，大部分煤中超微类脂体数量少，与基质镜质体B有明显区别，灵盐地区延安组煤中超微类脂体的数量仅占1%~2%，铜川焦坪和崔家沟煤中，光亮型煤条带中超微类脂体的数量可达10%~20%，但光亮型煤仅占全煤类型的1.4%，其它煤岩类型中超微类脂体的数量不足5%，庆华地区延安组薄煤层中基质镜质体大部分是基质镜质体B，超微类脂体十分发育，基质镜质体C在鄂尔多斯盆地中也有少量发育，主要见有超细纹层结构的煤岩，多在崔家沟、店头、黄陵烛煤、庆华薄煤层中出现，但量少。

关于基质镜质体的成因，M.Teichmuller^[9]认为：基质镜质体是碎屑颗粒(腐殖碎屑和类脂组碎屑)和分散凝胶的早期混合物，是由于地球化学凝胶化作用而强烈均质化的产物。秦勇等认为，基质镜质体也存在着明显的差异，主要原因是由于煤层内部煤化作用微环境条件不同而导致的。通过对鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地和吐—哈盆地煤中基质镜质体的特征及成煤沼泽环境的综合分析^[10]，结果表明：不同类型基质镜质体的成因不仅与原始物质和煤化作用微环境有关，而且与煤层形成时的沉积环境有关；基质镜质体A主要由腐殖碎屑和凝胶化基质组成，富氢程度低，处于一种相对干燥和氧化的条件；基质镜质体B由于含有大量的显微至超微级的类脂组碎屑，因而特别富含氢，代表的是一种湿沼泽和相对还原的环境特征。至于基质镜质体C，其可能的母质包括由高等植物遗体经强烈降解而成的凝胶化基质和低等生物的藻类及起改造作用的细菌等，C.Largeau等在对不同时代油源岩的无定形干酪根的TEM分析中发现^[11]，在常规显微镜下许多显示均质和无定形的干酪根样品，在TEM下呈现超细纹层结构，并将这些超细纹层解释为绿藻类的抗分解外壁。王飞宇等对中国湖相生油岩和油页岩的分析表明^[12]，超细纹层在光学显微镜下除一部分表现为层状藻类体外，绝大部分表现为无定形体，以上所描述的超细纹层和基质镜质体C中的超微纹层极为相似，说明了基质镜质体C中的类脂物来源于藻类、细菌等低等生物的可能性较大。基质镜质体C主要产出于腐殖腐泥煤或腐泥煤中，代表的是一种常覆水和还原环境。基质镜质体B和C显然具有较高的生油潜力，而基质镜质体A则不具备生油母质特征。在准噶尔和吐—哈盆地中，基质镜质体B是煤中基质镜质体存在的主要形式，基质镜质体A和C的分布则十分局限。在鄂尔多斯盆地延安组煤中，基质镜质体A分布十分广泛，特别是延安组厚煤层中，基质镜质体A是基质镜质体的主要存在形式，而基质镜质体B和C仅主要出现在庆华含煤区和铜川—黄陵煤田煤的光亮型煤分层中，不是鄂尔多斯盆地延安组主要的基质镜质体类型。因此，区分不同类型的基质镜质体对正确评价煤生烃潜力是十分重要的。

3.2.3 基质镜质体的成因(煤相)、生烃性及其对煤成烃的研究意义

在对准噶尔盆地和吐鲁番—哈密盆地侏罗系煤成烃显微组分的研究中，我们发现无论是基质镜质体还是类脂组的含量与煤的热解参数(氢指数)之间都不存在明确的对应关系，这可能是由基质镜质体的复杂性所决定的，因为尽管类脂组各亚显微组分的生烃潜力不尽相同，但差异并不十分明显，所以，类脂组的含量与煤的氢指数之间不存在正相关关系，可能是由于基质镜质体影响的缘故。从煤相和基质镜质体成因的关系研究结果看：煤相是影响基质镜质体成分的主要因素，不同的基质镜质体亚型分别富集于不同的煤相之中。根据煤岩学方法，中国北方侏罗系煤相可以划分为四种类型，分别为浅覆水森林泥炭沼泽相，深覆水森林泥炭沼泽相，芦苇泥炭沼泽相和开阔水体。浅覆水森林泥炭沼泽相发育于山麓冲积平原环境和河流环境，洪水期时，潜水

面高，沉积有机质，沼泽处于覆水阶段；枯水期时，潜水面低，有机质遭受比较强烈

解成为惰性碎屑体，这些惰性体碎屑、镜质体碎屑和凝胶化基质一起形成了基质镜质体A，基质镜质体B在该煤相中仅有极少量发育，而基质镜质体C在该相中则根本不出现。深覆水森林泥炭沼泽相发育于三角洲平原，这种环境下，潜水面较低，沼泽经常性处于覆水阶段，多为弱氧化—还原环境，植物结构保存较好，凝胶化指数较高，在沼泽表层中，类脂组成分特别是极薄而脆弱的角质化层被强烈活动的细菌、动物等大量的机械性破坏，因此，类脂组在该相中的表现形式主要是不同级别的类脂组碎屑，这些类脂组碎屑大量地赋存凝胶化基质中而成为基质镜质体B，基质镜质体A和C在该相中，分布较少。芦苇泥炭沼泽相主要发育于前三角洲和湖泊环境，这种煤相特别富集类脂组，尤其是角质体，这可能是由流动水或风携带高等植物的树叶进入沉积环境中所致，沉积场所则处于一种非经常性流动水的状态或静水状态，该相中的有机质先质除了外来的高等植物的树叶、孢子花粉外，主要是一些低等水生植物及浮游生物遗体，它处于一种低腐殖酸的水下沉积环境，这种环境下有大量的低等生物如藻类的残体参与了基质镜质体的形成，这种基质镜质体即为基质镜质体C，它在组成成分上显然有别于基质镜质体A和B，并有向基质状沥青质体过渡的趋向。开阔水体相主要发育于浅湖环境，由于沉积水体深，高等植物发育少，有机质先质主要是一些低等生物，局部环境可形成藻煤或腐泥煤，其显微组分主要是形态组分和沥青质体。因此，基质镜质体的成因分布与煤相密切相关。

吐—哈盆地和准噶尔盆地侏罗系煤主要是深覆水森林泥炭沼泽相和芦苇泥炭沼泽相，浅覆水森林泥炭沼泽相极不发育，而芦苇泥炭沼泽相中煤层薄，发育局限，主要的中厚煤层发育在深覆水森林沼泽相中。鄂尔多斯盆地延安组成煤范围广，受古地理条件制约，同一成煤期存在着较大的差异。在总体上以中、浅覆水的森林泥炭沼泽相为主要成煤环境，其中，灵盐地区成煤环境为冲积平原，沼泽类型有河道边缘沼泽和河道废弃沼泽，泥炭沼泽以较干燥的陆生森林沼泽持续时间较长而占优势，煤层中的镜质组含量低而惰性组含量相对较高，另外，在各煤层中还可见相当含量的丝质体及半丝质体碎片，分布混乱，说明沼泽水是动荡的、氧化的，使一些组分被冲积成碎片，因此，所形成的基质镜质体是以基质镜质体A为主。庆阳—华池含煤区成煤环境为三角洲前缘—前三角洲和湖滨环境，沼泽类型有间湾充填沼泽和滨岸平原沼泽，泥炭沼泽以覆水较深的沼泽占优势。煤层中镜质组含量相对较高，惰性组含量相对较低。因此，基质镜质体中以基质镜质体B为主。但庆华地区由于覆水较深，成煤条件变差，煤层变薄或尖灭，延安组煤层厚度一般 $<2\text{m}$ 。黄陵—铜川地区成煤条件较差，仅在延安组第一段形成一层局部可采的煤层，其中黄陵地区以中等—浅覆水环境为主的森林泥炭沼泽相。焦坪、崔家沟煤矿煤成煤初期为浅覆水的森林泥炭沼泽环境，中后期水体加深，处于一种中等覆水为主的沼泽环境，其基质镜质体亦以基质镜质体A为主，少量的基质镜质体B，且主要分布在光亮型煤分层中，基质镜质体C少见。黄陵煤田鲁寺烛煤(油炭)中大量的基质镜质体基本不发荧光，和基质镜质体A的性质相同，仅在孢子体周围受孢子降解的影响产生极弱的暗褐色荧光，类似于富氢镜质体，而与藻类体降解产生的腐泥质(沥青质体)截然不同。根据煤岩分析结果，烛煤的成煤植物以高等植物占绝对优势，低等植物藻类在煤样品中虽有发现，但含量多 $<1\%$ 。由于烛煤的显微组分十分细碎，分布亦比较均匀，所以烛煤的显微煤岩类型以微三合煤占优势。煤岩学家普遍认为微三合煤是水下沉积物，但烛煤中带结构的组分如结构镜质体、丝质体、半丝质体很少，而且很小，留下较多的是惰质碎屑体、镜质碎屑体和基

质镜质体，可见这些成煤植物不仅遭受过生物化学作用的分解，更重要的是机械作用

然后搬运，分选沉积的结果。该区的烛煤成因可能是异地成因的，西安煤院对该区烛煤煤相的研究结果也认为烛煤可能是异地成因的。因此，尽管它形成于较深水环境，但成煤原始泥炭不是深水环境，而可能来自于滨湖平原，基质镜质体的类型仍是A型，而不是B型和C型。

表6 基质镜质体的岩石热解实验数据

Table 6 Data of desmocollinites by the Rock-Eval pyrolysis

基质镜质体的类型	相对含量 /%	氢指数/IH /mg·g ⁻¹ .cot	S ₁ /mg·g ⁻¹	S ₂ /mg·g ⁻¹	Tmax /	VRo /%
A	60	67.2	0.51	57.3	428	0.55
B	90	376.00	6.08	245.74	415	0.46
C	70	397.25	6.63	279.5	426	0.51

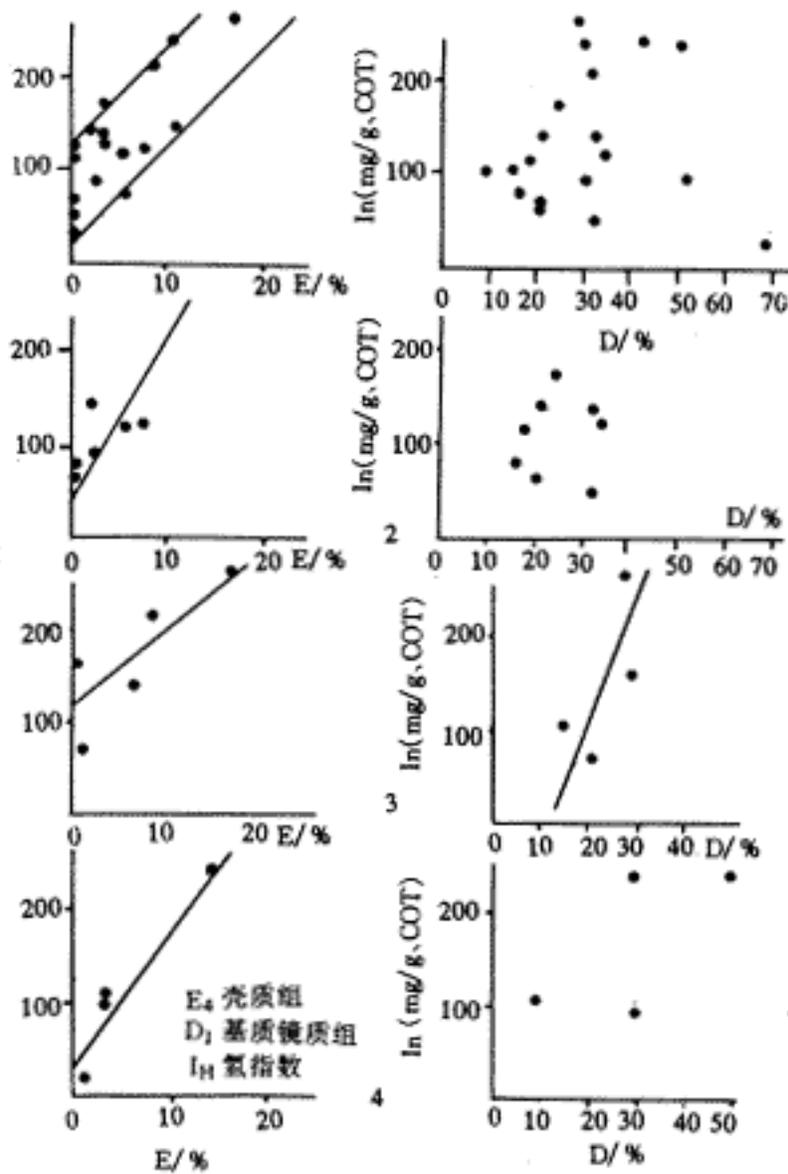


图3 鄂尔多斯盆地延安组显微组分含量与热解氢指数相关图

1.全盆地；2.灵盐地区；3.陇东地区；4.黄陵—铜川地区

Fig.3 Correlation between hydrogen index and macerals content of Yan'an Formation coal

1. Whole basin; 2. north area; 3. middle area; 4. south area

为了说明基质镜质体的产烃能力，在不同煤相中分别挑选了富集基质镜质体的煤样作岩石热解分析(表6)，结果表明：基质镜质体C的生烃潜力最高，基质镜质体B次之，这两种基质镜质体都是煤成烃的良好母质，特别是产于腐殖煤中并具高产烃能力的基质镜质体B，广泛分布于吐—哈盆地和准噶尔盆地中生界煤中，对该盆地中生界煤成烃尤其是煤成油的形成具有重要作用；而基质镜质体A的产烃潜力要低得多，对煤成烃的贡献也小得多。从图3中也可看出，延安组煤的氢指数和壳质组含量的相关性较好，而与基质镜质体的相关性极差。因此，鄂尔多斯盆地延安组中十分发育的基质镜质体A对煤系的生烃潜力影响甚微。这些特征和对基质镜质体成因(煤相)的探讨结果基

本一致，由此可见，不同的煤相(沉积环境)影响着基质镜质体的成分和生烃性能，对

因，而且对鄂尔多斯盆地中生界煤成烃的研究具有重要意义。

综合上述，鄂尔多斯盆地侏罗纪延安组煤中壳质组很不发育，基质镜质体的类型(主要为基质镜质体A)也不利于生油，总体上，延安组煤为差生油岩。但盆地中部庆华含煤区及南缘黄陵—铜川地区的烛煤，腐殖煤光亮型煤分层中壳质组含量较高，已达生油岩标准，而且除烛煤外，基质镜质体的类型亦偏好(以基质镜质体B为主)，但庆华地区含煤性差，黄陵—铜川地区光亮型煤分层仅占整个煤层的2%，烛煤中主要生油显微组分为孢子体，而孢子体的主生油期为0.9%~1.1%，烛煤的镜煤反射率仅为0.6%~0.7%左右，尚未进入大量生油期，这些都说明上述地区延安组煤不大可能生成大量石油。

鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价研究报告，“七五”国家一类地质科研项目，陕西煤田地质局，甘肃煤田地质研究所，宁夏煤炭工业地质勘探队，1992。

郭玉辉，渭北下石节煤矿中侏罗统含煤岩系生油可能性研究[A]：[硕士论文]。西安：煤炭科学院西安分院，1987。

郭丽娜，鄂尔多斯盆地西南部中侏罗统延安组煤—油成因联系和共生结论基理[A]：[博士论文]。北京：中国地质大学，1989。

郭黔杰，我国鄂尔多斯盆地、吐哈等煤盆地含煤岩系中某些“成烃煤”特征及“煤成油”的形成和初次运移[A]：[博士论文]。中国矿业大学，1991。

张文正，徐正球，陕甘宁盆地中生界油源再认识[R]，长庆石油勘探开发研究院内部报告，1996。

第一作者简介 姚素平 男 1966年出生 博士 有机岩石学和地球化学

作者单位：姚素平 张景荣(南京大学地球科学系 南京 210093)

王可仁 栾 琴(长庆石油勘探开发研究院 甘肃庆阳 745100)

参考文献

[1] 吴传荣，张慧，李远虑等.西北早—中侏罗世煤岩煤质与煤变质研究[M]。北京：煤炭工业出版社，1995.19~64

[2] 钱丽君，白清昭，熊存卫等.陕西北部侏罗纪含煤地层及聚煤特征[M]。西安：西北大学出版社.1987.128~167

[3] 黄第藩、秦匡宇、王铁冠等.煤成油的形成和成烃机理[M]。北京：石油工业出版社，1995.313~369

[4] 何德长.榆林、神木、府谷地区延安组植物群，陕西北部侏罗纪含煤地层及聚煤特征[M]。西安：西北大学出版社，1987

[5] 陈建平、黄第藩.鄂尔多斯盆地东南缘煤矿侏罗系原油油藏[J]。沉积学报，1997(2)：100~104

[6] Saxby J D, Bennett A J R, Corcran J F, et al. Petroleum generation: Simulation over six years of hydrocarbon formation from torbinite and brown coal in a subsiding basin

[J] , Org. Geochem., 1986,9: 69 ~ 81

出版社.1992.1 ~ 20

[8] Smyth M. Organic petrology and clastic depositional environments with special reference to Australian coal basins [J] . Intern. J. Coal Geol., 1989,12:635 ~ 656

[9] Teichmüller M .The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology Intrtn.J. Coal Geol., [J] 1989,12 : 1 ~ 87

[10] 姚素平、张景荣、金奎励等.新疆侏罗系煤基质镜质体的岩石学特征及成烃性 [J] .煤田地质与勘探, 1997, (3), 14 ~ 20

[11] Largeau C. Occurrence and origin of ultralaminae structure rocks and oil shales [J] . Org. Geochem., 1991,16:889 ~ 895

[12] 王飞宇, 傅家谟, 刘德汉等.中国湖相生油岩和油页岩无定形有机质中的超细纹层 [J] .科学通报, 1994.39(1):30 ~ 32

收稿日期: 1998-03-04