

文章编号: 0253-9985(2009)01-0074-11

鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积有机相

姚素平, 张科, 胡文瑄, 房洪峰, 焦堃

(南京大学地球科学与工程学院, 江苏南京 210093)

摘要: 根据沉积有机相基本的有机岩石成分组成, 结合三叠系延长组地层的沉积相和富集及分散有机质的地球化学特征, 将鄂尔多斯盆地三叠系延长组煤和烃源岩划分为陆地森林(沼泽)有机相(A)、湿地森林(沼泽)有机相(B)、湿地草本混生(沼泽)有机相(C)、覆水草本(沼泽)有机相(D)、异地残殖(漂浮沼泽)有机相(E)和开阔湖盆藻质有机相(F) 6类沉积有机相。其中, A和B相成煤, F相为油气源岩, 而C、D、E相具有成油和成煤的共性。通过不同有机相有机质的热解实验, 分析了各有机相的油气生成潜力, 提出沉积有机相是综合评价煤、油、气、油页岩等多种有机可燃矿产共存共生的有效方法, 并运用沉积有机相对鄂尔多斯盆地延长组煤和烃源岩的成烃方向及转化能力进行了综合判识。

关键词: 沉积有机相; 显微组分; 生烃潜力; 资源评价; 延长组; 三叠系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Sedimentary organic facies of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin

Yao Suping, Zhang Ke, Hu Wenxuan, Fang Hongfeng, Jiao Kun

(School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: Coal and hydrocarbon source rocks in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin were studied to identify their sedimentary organic facies by combining the basic organic rock compositions of sedimentary organic facies with the sedimentary facies and the organic geochemical characteristics of enriched or dispersed organic matters in the Yanchang Formation. The result indicates that there are six types of organic facies: the terrestrial forest (bog) organic facies (A), the swamp forest (bog) organic facies (B), the swamp-marsh forest (bog) organic facies (C), the marsh (bog) organic facies (D), the allochthonous residual (float bog) organic facies (E), and the open lake algae organic facies (F). Among them, A and B generate coal, F generates hydrocarbons, while C, D and E generate both hydrocarbon and coal. The hydrocarbon generating potential of each organic facies was analyzed through Rock-Eval experiments. It is suggested that the study on sedimentary organic facies is a useful method in evaluating the paragenesis of various types of combustible organic minerals, including coal, oil, gas, and oil shale. A comprehensive evaluation of the hydrocarbon generation trends and conversion ability of the coal and hydrocarbon source rocks in the Yanchang Formation was also carried out by adopting knowledge concerning the organic sedimentary facies.

Key words: sedimentary organic facies; maceral composition; hydrocarbon generation potential; resource evaluation; Yanchang Formation; Triassic; Ordos Basin

沉积有机相是国内外广泛应用于油气资源评价和盆地远景预测的工具, 由于它涵盖了有机质的形成、演化及空间展布特征, 进而也成为油、气、

煤多种能源矿产综合勘探的有效方法。但不同学者对有机相概念的理解不同, 其使用范围和划相指标也存在较大差异。有机相的起源和发展与煤

收稿日期: 2008-09-28。

第一作者简介: 姚素平(1965—), 男, 教授, 有机地球化学。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB214608); 国家自然科学基金项目(40573055)。

岩学密切相关,因此许多学者从煤相的角度来揭示烃源岩的有机相特征,根据成煤沼泽类型划分有机相,其划相指标偏重于煤岩学特征^[1~4]。金奎励等据对吐哈盆地和准噶尔盆地烃源岩的研究,将有机相划分为干燥沼泽相、森林沼泽相、流水沼泽相和开阔水体相,并应用于煤成烃特别是煤成油的资源评价^[2,3]。油气地球化学家更注重烃源岩的油气生成潜力,其有机相的划分主要反映地质体中有机质的富氢程度和生源特性,如 Jones (1987) 据干酪根类型将有机相分为 4 种主要有机相(A, B, C, D) 和 3 种过渡型有机相(AB, BC, CD)^[5]。近年来,对有机相的研究开始重视有机质的沉积背景,即无机沉积岩的沉积特征,如 Tyson (1996) 在 Jones 的基础上通过层序地层、有机相和孢粉相的研究总结了不同体系域沉积有机质的一系列特征^[6]。

沉积有机相是有机质的沉积相,沉积相研究的基础理论来源于沉积岩石学。同样有机岩石学是研究有机相的重要理论依据和技术手段。沉积有机相的研究内容包括了沉积岩中有机质的岩石学特征、地球化学特征、生物学特征、沉积环境及沉积岩体的展布特征等诸多因素,其中最重要的是有机质的生源特征。它不仅反映了有机质的生烃质量,也反映了有机质的形成环境。而有机岩石学的最基本单位——显微组分是划分有机质类型的基础。显微组分的数量直接反应了烃源岩的有机质丰度,显微组分的光性和种类是烃源岩演化程度、生烃潜力、生源特征及沉积环境最直观的标志。因此,以有机岩石学为基础划分的沉积有机相可以较好地反映地质体中有机质的数量、类型、成熟度和沉积环境及它们跟与其有成因联系的烃产物类型之间的关系。本文以有机岩石学研究为主要手段,结合沉积相和有机地球化学研究,对鄂尔多斯盆地三叠系延长组烃源岩和煤的有机相进行了综合研究。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地是发育于稳定克拉通盆地之上的大型叠合盆地(图 1),盆地的发展经历了由古生代海相沉积到中生代内陆湖盆沉积的发展过程。其中,晚三叠世是盆地湖泊发育的鼎盛时期,

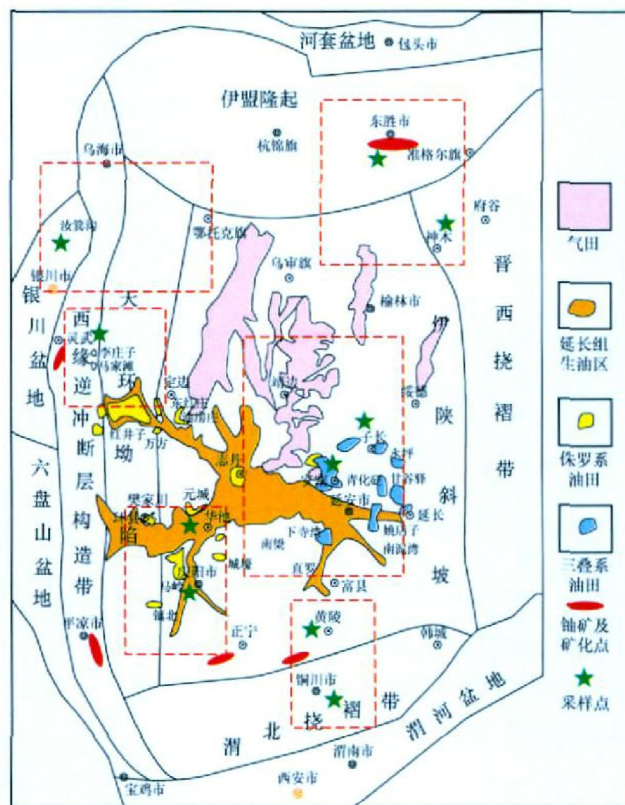


图 1 鄂尔多斯盆地区域构造及采样点分布
Fig. 1 Areal structural map of the Ordos Basin and distribution of sampling points

发育了一套厚达 1 000~ 1 500 m 的以河流和湖泊相为主的碎屑沉积,并构成了盆地内重要的成油和成煤地层。

晚三叠世时期,盆地周边水系发育,河水携带碎屑物质从周边的古隆起入湖,形成一系列向盆地中心发育的河湖三角洲裙和半深湖—深湖的沉积体系^[7,8]。延长组沉积经历了完整的湖进—湖退过程(地层划分见表 1):长₁₀—长₉段是湖泊雏形阶段,盆地快速沉降,底部为平原河流相巨厚块状长石砂岩,上部出现湖相深灰色泥岩,厚 200~ 300 m;长₈—长₆段是湖盆发展全盛阶段,沉积了富含大量湖生有机质的黑色泥页岩和油页岩,是延长组的主要生油岩,厚 300~ 400 m,其中长₇段是最大湖进期的沉积,发育了稳定的湖相泥岩;长₄₊₅—长₁段为湖盆萎缩阶段,由湖相逐渐过渡到河流三角洲沉积,顶部进入湖沼沉积,出现煤线和薄煤层。在陕北形成了我国晚三叠世重要的瓦窑堡煤系,厚 150~ 300 m。

总之,鄂尔多斯盆地延长组是油源岩和含煤岩系同盆共存的主要时期。从盆地的演化特点可

表1 鄂尔多斯盆地三叠系地层划分简表

(据长庆油田, 1986)

Table 1 Stratigraphic division of the Triassic
(after the Changqing oilfield, 1986)

地层					厚度/m
系	组	段	油层组	煤号	
三叠系	延长组	第五段(T_3y^5)	长 ₁		0~245
		第四段(T_3y^4)	长 ₂		120~160
			长 ₃		100~170
		第三段(T_3y^3)	长 ₄₊₅		80~110
			长 ₆		115~125
		第二段(T_3y^2)	长 ₇		80~100
			长 ₈		70~85
			长 ₉		90~120
			长 ₁₀		200~320
		第一段(T_3y^1)	长 ₁₀		200~320

以看出, 油源岩主要形成于湖盆最发育的阶段, 含煤岩系则主要形成于晚期湖盆萎缩阶段, 发育了湖沼相的瓦窑堡煤系^①。

2 烃源岩和煤的有机岩石学和地球化学特征

鄂尔多斯盆地延长组沉积相变化大, 相带变迁范围宽, 无论是垂向上还是平面分布, 其地球化学特征差异明显, 煤和烃源岩的有机质母质类型的不同是造成其地球化学特征差异的主要原因。

2.1 延长统烃源岩的地球化学特征

$T_3y^5-T_3y^4$ (长₁—长₃): 主要为河流、浅湖、沼

泽相沉积的砂、泥岩夹薄煤线, 盆地大部分地区地层保留不全, 暗色泥岩厚度约为 80~120 m; 大部分样品的有机碳含量小于 1.0%, 氯仿沥青“A”含量小于 0.05%, 烃含量小于 300×10^{-6} ; 有机显微组分以镜质组为主, 母质类型大部分为 II 型, 基本上属于差生油岩之列^[9, 10]; 镜质体反射率 R_o 一般在 0.6%~1.0%, 处于成熟阶段(表 2)。

$T_3y^3-T_3y^2$ (长₄₊₅—长₉): 为延长组湖相沉积的主要时期, 暗色泥岩约 200 m 厚; 有机碳含量平均为 2%, 氯仿沥青“A”含量在 0.1%~0.3%, 烃含量在 $1\,000 \times 10^{-6}$ 左右。其中, 主要油源层长₇ 的半深水湖相暗色泥岩的有机质丰度达到好—极好的生油岩标准。如陇东地区平均有机碳含量为 2.72%, 氯仿沥青“A”含量在 0.330 2%, 烃含量在 $2\,061.1 \times 10^{-6}$; 灵盐地区平均有机碳含量为 3.86%, 氯仿沥青“A”含量在 0.350 8%, 烃含量在 $1\,522.8 \times 10^{-6}$; 陕北地区平均有机碳含量为 3.04%, 氯仿沥青“A”含量在 0.415 8%, 烃含量在 $2\,692.3 \times 10^{-6}$; 镇—泾地区长₅ 有机碳含量一般在 2% 以上、烃含量大于 200 mg/L, 长₆ 烃源岩有机碳含量为 0.43%~2.24%、烃含量多在 101.4~181.8 mg/L, 长₇ 有机碳含量为 0.96%~4.27%、烃含量为 242.5~1\,642.5 mg/L, 长₈ 烃源岩有机碳含量为 0.76%~2.02%、烃含量为 108.6~715.9 mg/L, 长₉ 平均有机碳含量为 1.93%、烃含量为 314.2 mg/L^[11]。马素萍等(2005)对西峰油田烃源岩的统计结果表明^[12~14], 西峰油田长₇ 段烃源岩样品中有机碳含量平均值为 2.18%; 长₈ 段

表2 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组暗色泥岩有机质丰度

Table 2 Abundance of organic matter of the dark mudstone from the Upper Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin

层位	陇东地区			灵盐地区			陕北地区		
	有机碳含量, %	氯仿沥青“A”含量, %	烃含量, 10^{-6}	有机碳含量, %	氯仿沥青“A”含量, %	烃含量, 10^{-6}	有机碳含量, %	氯仿沥青“A”含量, %	烃含量, 10^{-6}
长 ₁				0.50(1)			0.75(21)	0.109 5(12)	431.65
长 ₂	1.24(128)	0.043 0(74)	139.75				1.13(29)	0.083 4(21)	307.83
长 ₃	0.98(137)	0.048 4(81)	211.46		0.066 1(1)	309.74	1.27(23)	0.096 4(30)	387.24
长 ₄₊₅	0.96(97)	0.112 5(49)	609.64	1.34(2)	0.052 5(4)	162.70	1.64(23)	0.103 2(23)	585.87
长 ₆	1.22(89)	0.067 7(43)	425.36	1.66(1)	0.082 1(1)	171.59	1.94(31)	0.198 9(17)	1\,409.01
长 ₇	2.72(118)	0.330 2(55)	2\,061.11	3.86(4)	0.350 8(6)	1\,522.82	3.04(21)	0.415 8(14)	2\,692.31
长 ₈	1.53(56)	0.152 9(15)	654.87	1.31(5)	0.087 3(5)	270.19	2.12(14)	0.458 9(20)	3\,343.55
长 ₉	1.27(37)	0.070 1(30)	307.11	0.76(9)	0.061 0(9)		1.46(21)	0.175 5(20)	1\,073.36
长 ₁₀	0.81(10)	0.031 3(8)	70.52	0.59(4)	0.037 8(3)	121.26	1.31(9)	0.024 9(8)	107.34

注: 表中数值为平均值(样品数)。

① 陈安定. 陕甘宁盆地中生界生油层特征及评价. 长庆油田研究院, 1984

烃源岩样品有机碳含量平均值为 2.61%。长₇段和长₈段烃源岩绝大部分为中等—好烃源岩。总体上延长组以长₇有机质丰度最高;长₈、长₆、长₄₊₅和长₉的有机质丰度依次变差,但仍为好—较好生油岩;长₄₊₅和长₉中部分样品显示较差生油岩的丰度特征(表 2)。

镜下观察表明,干酪根主要是藻无定形,成熟度较低者全岩光片可见强黄色荧光的结构藻类体和层状藻类体。镜检和元素分析结果表明,大部分层段为过渡类型的有机质(表 3;图 2),如长₇主要为 I₁—II₂ 型有机质。长₇段暗色泥岩在 H/C—O/C 元素分布图上离散度较大,表现出从 I 到 II₂ 均有分布的特征。这主要是由母质类型决定的,镜检结果也发现长₇同时具有 3 种母质类型,纵向上交替出现。长₇油层组沉积时期,半深水—深水湖相是一个较为狭窄的北西向条带,深湖相范围小,边缘相带宽,湖水的进退和相带的变迁造成了同一层母质类型的多样化。可溶有机质分析结果也表明了延长组的有机质类型为腐泥、腐殖型并存。如镇—泾地区延长组二段长₇、长₉油层组的饱和烃含量大于 20%,饱/芳比大于 1,非烃+沥青质含量小于 50%,(非烃+沥青质)/总烃含量比较低,反映出偏腐泥型特征;延长组三段及长₈油层组显示偏腐殖型特点^[9]。

T_{3γ}¹:以平原河流相砂岩为主,向上夹紫色、灰绿色泥岩;母质类型以腐殖型为主,有机质丰度较低,有机碳含量一般为 0.6%~0.8%,氯仿沥青“A”含量在 0.03%左右,烃含量大约为 150×10⁻⁶,烃/有机碳含量比小于 2%;干酪根类型明显属于 II 型,且处于高成熟阶段,属于差生油岩—非生油岩之列。

延长组的热演化程度以长₇为界,长₇段镜质体反射率 R_o 在 0.76%~1.16%,平均 1.00%,处于成熟阶段。如西峰油田长₇段、长₈段烃源岩最大热解峰温(T_{max})分别为 437~450℃和 439~455℃,其平均值分别为 442℃和 446℃,R_o 值多为 0.5%~1.0%,说明长₇段、长₈段烃源岩处于生烃的最佳阶段。

从表 2 和表 3 中可以看出,延长组主要生油层段(第二段和第三段)表现为陕北最好,其次是陇东,最差为灵盐地区。结合地质条件分析,北自马家滩、红井子,南自庙彬一带,东至延安、富县,西至环县、西峰,为最有利生油区;较好生油区至差生油区呈环带状分布于有利生油区的外围。定边—延安至子长一线为较好生油区;而灵盐—靖边—绥德一线及其以北地区主要为三角洲平原,以厚层块状砂岩为主,夹少量的暗色泥岩,局部发育沼泽相沉积,其生油指标均反映为差—非生油岩。

表 3 鄂尔多斯盆地三叠系延长组暗色泥岩干酪根显微组分统计

Table 3 Maceral composition analysis of the dark mudstone from the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin						
指标	显微组分含量, %				T _i	有机质类型评价
	腐泥组	壳质组	镜质组	惰质组		
长 ₁	0~ 10.0 (5.0)	2.0~ 28.0 (15.0)	35.0~ 78.0 (67.0)	5.0~ 45.0 (18.0)	- 83.75~ 2.75 (- 55.75)	II ₂ - II型
长 ₃	0~ 5.5 (1.5)	2.0~ 17.0 (15.0)	35.0~ 93.0 (75.0)	5.0~ 22.5 (8.5)	- 78.12~ - 17.25 (- 55.75)	II型
长 ₄₊₅	0~ 58.5 (18.5)	5.5~ 36.0 (14.5)	36.0~ 90.0 (57.0)	1.0~ 18.0 (10.0)	- 72.63~ 33.25 (- 27.00)	II ₂ - II型
长 ₆	11.0~ 62.0 (26.0)	3.0~ 39.0 (18.0)	6.0~ 72.0 (42.0)	0~ 63.0 (14.0)	- 67.75~ 37.25 (- 10.50)	II ₂ - II型
长 ₇	28.0~ 72.0 (45.0)	0~ 44.0 (9.5)	4.0~ 60.0 (35.0)	0~ 15.0 (10.5)	1.25~ 81.00 (30.98)	I ₁ - II ₂ 型
长 ₈	5.0~ 63.0 (41.5)	5.0~ 19.0 (12.0)	27.0~ 95.0 (41.5)	1.0~ 13.0 (5.0)	- 45.75~ 58.75 (11.38)	II ₁ - II型
长 ₉	10.0~ 36.0 (23.0)	12.0~ 17.0 (15.0)	51.0~ 72.0 (58.0)	1.0~ 9.0 (4.0)	- 44.75~ 9.00 (- 17.00)	II ₂ - II型

注:表中数据为最小值~最大值(平均值);T_i(有机质类型指数)=腐泥组含量×100%+壳质组含量×50%+镜质组含量×(-75%)+惰性组含量×(-100%)。

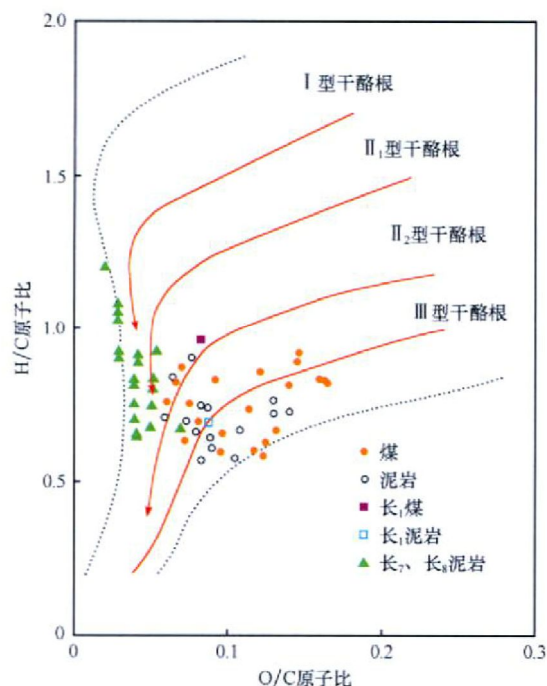


图2 鄂尔多斯盆地三叠系煤系地层煤和泥岩元素组成范氏图

Fig. 2 The Van Krevelen diagram of kerogen elements of the coal and mudstone of the Triassic in Ordos Basin

2.2 含煤岩系的有机岩石学和地球化学特征

2.2.1 上三叠统瓦窑堡煤系

瓦窑堡煤系含煤8~22层,最多30多层,煤厚一般为0.05~0.40 m,主要出露于铜川、宜君、富县、子长县、榆林至神木一线,吴旗、志丹、安塞等地也有少量分布。以佳县—横山为界,北部主要为辫状河沉积的灰绿、黄绿、灰白色中—细粒砂岩夹砂质泥岩、粉砂岩及煤线,西南部主要为湖泊三角洲—浅湖—次深湖相沉积。煤系主要发育于瓦窑堡组的上部,其含煤性较好,含煤面积大,煤厚较稳定,是瓦窑堡煤系的主要可采煤层。聚煤

作用由于受印支运动影响使陕北子长县一带相对抬升的部位发育湖泊三角洲充填湖泊,形成湖泊三角洲—湖湾环境;后期三角洲平原整体废弃,泥炭沼泽稳定生长,厚煤区位于上、下三角洲过渡部位。陕北子长县和子洲县之间的三角洲平原聚煤中心煤层变化极有规律,累计厚度大于4 m,从上三角洲平原—下三角洲平原—湖湾区,煤层由薄变厚再变薄直至浅湖区尖灭。

表4是部分样品显微组分分析统计表。分析结果显示,煤层中镜质组含量明显较高。煤层最厚区南家咀煤矿煤以基质镜质体为主,含量达60%以上,在蓝光激发下显示中等强度的浅黄色荧光;透射电子显微镜下见有大量的杂乱分布的超微类脂体,含量可达基质镜质体的10%~20%,并见有较多的超细纹层结构;超细纹层结构特征均为栅状结构,纹层展布非常规则,纹层的厚度稍小于或等于纹层的间隔,且煤系暗色泥岩干酪根中具有超细纹层结构的有机质明显高于煤中的有机质。这种超细纹层结构的成因可能与抗分解的高度脂肪性生物聚合物组成的微藻类细胞壁的选择性保存有关^[15,16]。因此,瓦窑堡煤系煤中的基质镜质体并不纯粹由木质素和纤维素演化形成,而是混入了大量的类脂组碎屑,这些类脂组碎屑经过生物降解和凝胶化作用等早期煤化作用过程而以超微类脂体形式参与基质镜质体的形成;同时,水下成煤环境中发育有大量的浮游藻类,早期成岩作用经细菌降解,部分形成沥青质体,部分则以超微细纹层和分子级藻类类脂物形式输入到腐殖基质中,从而使得瓦窑堡煤系煤中的基质镜质体富含氢,成为瓦窑堡煤系煤中主要的生烃显微组分。惰性组中多见粗粒体,还有少量的结构保存完好的丝质体和半丝质体。类脂组主要为孢子体,含有大量的大孢子体,含量高达孢子体的

表4 鄂尔多斯盆地上三叠统瓦窑堡煤系显微组分分析

Table 4 Maceral composition analysis of the Wayaobu coal measure strata in the Upper Triassic of the Ordos Basin

煤样品来源	镜质组含量, %			惰性组含量, %			类脂组含量, %					矿物杂质含量, %	R_o , %
	均质镜质体	基质镜质体	镜屑体	丝质体	粗粒体	惰屑体	角质体	孢子体	树脂体	沥青质体	藻类体		
南家咀煤矿	7.1	64.7	3.4	3.6	8.2	2.0	1.0	5.2	0.2	4.2	0.5	0.6	0.75
张4井	47.1	15.9	1.2	13.6	8.2	2.8	0.6	3.0	3.6		4.0	0.6	
ZJ-65井	58.2	4.2	0.6	0.2			2.8	0.6	0.2	1.6		22.8	0.71
ZJ-76井	72.2	3.4	3.2	3.6	2.8	2.0	0.6	1.2	0.2	3.0		8.2	0.68

20%~ 40%; 角质体和结构藻类体也是瓦窑堡煤系煤中常见的有机显微组分, 特别是在煤层夹矸和煤系泥岩中, 结构藻类体形态清晰, 具有黄- 黄绿色荧光。根据显微组分组合特征, 显微煤岩类型以微镜煤为主, 平均含量为 33. 7%; 其次是含量较高的微孢子亮煤(15. 1%) 、微暗亮煤(10. 9%) 、微矿化煤(9. 4%) 、微惰煤(7. 7%) 和微角质亮煤(4. 3%), 反映了瓦窑堡煤系煤以含壳质组的显微煤岩类型较多为其主要特点。

孢粉分析结果表明^[17], 瓦窑堡煤系 5 号煤层以蕨类植物孢子占绝对优势, 含量高达 78. 5%, 裸子植物花粉仅占 21. 5%, 且蕨类植物孢子中又以草本植物类型的真蕨纲为主, 草本植物含量占 62. 0%, 木本植物仅占 38. 0%, 反映其成煤环境是以草本植物占优的草本混生湿地泥炭沼泽类型。

南家咀煤矿煤的有机碳含量平均为 74. 82%, 氯仿沥青“ A ”含量为 1. 987 1%, 总烃含量达 0. 790 7%, 沥青转化率为 2. 66%, 烃转化率为 1. 06%, 岩石热解生油潜力($S_1 + S_2$) 达 209. 99 mg/ g, 氢指数为 265 mg/ g(表 5), 有机质类型为 II 型。各项参数显示瓦窑堡煤系煤具有较好的生油性能。瓦窑堡煤系泥岩在陇东地区有机碳平均含量为 2. 54%, 氯仿沥青“ A ”含量为 0. 014 6%, 总烃含量达 0. 006 3%, 生油潜量 $S_1 + S_2$ 仅 4. 84 mg/ g; 靖边- 安塞地区有机碳平均含量为 1. 16%, 氯仿沥青“ A ”含量为 0. 160 3%, 总烃含量达 0. 066 7%, 生油潜量 $S_1 + S_2$ 仅 2. 44 mg/ g; 黄陵- 铜川地区有机碳平均含量为 1. 14%, 氯仿沥青“ A ”含量为 0. 010 2%, 总烃含量达 0. 005 8%, 生油潜量

$S_1 + S_2$ 仅 1. 5 mg/ g, 有机质类型主要为 II 型。由于仅陇东地区部分样品的有机质达 II₂ 型标准, 因此瓦窑堡煤系的暗色泥岩为中等- 差生油岩。

2. 2. 2 延长组(长₂ —长₁₀) 煤和碳质泥岩

延长组除长₁ 的瓦窑堡煤系含煤外, 长₂ —长₁₀ 段局部也含有少量薄煤层、煤线和碳质泥岩, 厚度一般小于 1 m。以安塞油田为例, 延长组长₄₊₅、长₆ 的煤和碳质泥岩的煤岩显微组分最突出的特点是富氢组分含量高(表 6), 大部分煤富含壳质组, 少量样品富含藻类体。惰性组含量一般小于 5%, 个别煤层惰性组含量达 20% 以上, 但多为惰屑体。显微煤岩类型以微三合煤和微亮煤为主, 少量的微镜惰煤。GI(凝胶化指数) 值高, TPI^[18] (结构保存指数) 值低。煤和碳质泥岩均以高等植物为主, 沼泽类型为森林沼泽。煤和碳质泥岩中的基质镜质体和部分均质镜质体普遍发褐黄色荧光, 说明延长组时期(长₆ 以后) 植被繁茂、气候温暖潮湿, 沼泽为还原环境。煤和碳质泥岩中矿物成分含量高, 且薄而不稳定, 反映成煤环境不稳定, 经常有泥砂输入沼泽。富氢显微组分含量高与强的流动水的搬运有关。它是洪水期或因河道的摆动将已经形成的沼泽有机质再搬运至沉积区而形成的。在搬运过程中, 有机质不断地被破坏和氧化, 导致 TPI 值越来越小。有机质机械破碎程度越高, 反映水动力条件越强, 搬运距离越远。壳质组不断富集, 但煤中的藻类体可能不是随水搬运的产物, 而是在湖湾水面上生成的浮游藻类, 落入水中埋藏于腐殖物质之中, 导致煤和碳质泥岩中藻类体的含量较高。

表 5 鄂尔多斯盆地上三叠统瓦窑堡煤系有机质丰度统计

Table 5 Abundance of organic matter in the Wayaobu coal measure strata in the Upper Triassic of the Ordos Basin								
样品来源	岩性	C, %	A, %	HC, %	(A/C), %	(HC/C), %	($S_1 + S_2$)/ (mg · g ⁻¹)	HI/ (mg · g ⁻¹)
南家咀煤矿 5 号煤	煤	74. 82	1. 987 1	0. 790 7	2. 66	1. 06	209. 99	265. 00
	夹矸	13. 57	0. 157 7		1. 16		5. 88	42. 00
	碳质泥岩	24. 33	0. 365 0	0. 180 0	1. 50	0. 74	44. 20	179. 00
洪水沟煤矿 3 号煤	煤	71. 71	1. 809 0	0. 663 0	2. 54	0. 92	174. 41	241. 00
陇东地区	泥岩	2. 54	0. 014 6	0. 006 3	0. 30	0. 13	4. 48	154. 09
靖边- 安塞地区	泥岩	1. 16	0. 160 3	0. 066 7	6. 46	2. 69	2. 44	126. 93
黄陵- 铜川地区	煤	43. 17					83. 50	168. 93
	泥岩	1. 14	0. 010 2	0. 005 8	1. 70	0. 97	1. 50	93. 75

注: C 为有机碳含量; A 为氯仿沥青“ A ”含量; HC 为总烃含量; $S_1 + S_2$ 为可溶烃含量+ 热解烃含量; HI 为氢指数。

表6 安塞油田延长组煤岩显微组分统计

Table 6 Maceral composition analysis of the carbonaceous mudstone from the Yanchang Formation in the Ansai oilfield

井号	层位	岩性	显微组分含量, %				TPI	GI
			V	I	E	Al+ B		
ZJ65	长 ₃₊₅	碳质泥岩	38	23	36	3	2.5	1.7
坪30-42	长 ₆	煤	47	18	34	1	0.8	2.6
ZJ65	长 ₆	煤	72	12	14	2	2.1	5.5
ZJ54	长 ₆	碳质泥岩	72	微量	17	11	3.0	强
ZJ54	长 ₆	碳质泥岩	62	3	23	12	2.7	21.0
ZJ54	长 ₈	碳质泥岩	53	23	8	16	5.2	2.3
ZJ40	长 ₆	碳质泥岩	59	微量	29	12	6.0	强
ZJ14	长 ₆	碳质泥岩	34	3	39	24	0.8	3.6
塞404	长 ₆	煤	79	16	5	微量	4.3	3.8
ZJ12	长 ₆	煤	87	2	11	微量	2.3	强
ZJ12	长 ₈	煤	66	25	9	微量	0.9	2.6
ZJ42	长 ₆	煤	76	1	23	微量	0.8	强
ZJ42	长 ₈	碳质泥岩	66	3	3	28	0.3	强
ZJ3	长 ₃₊₅	煤	60	32	7	1	6.0	0.5
ZJ3	长 ₃₊₅	碳质泥岩	90	1	9	微量	9.8	强
ZJ3	长 ₆	煤	78	17	5	微量	6.0	3.5
ZJ3	长 ₆	煤	51	35	13	1	4.7	1.3
ZJ3	长 ₈	碳质泥岩	72	1	16	11	0.2	强
杏17-6	长 ₆	碳质泥岩	40	微量	31	29	0.4	强
王24-12	长 ₆	碳质泥岩	68	微量	20	22	0.3	强
王24-12	长 ₆	微矿化煤	48	22	22	8	0.8	1.8
塞143	长 ₆	煤	77	5	18	微量	3.0	6.4
塞143	长 ₈	煤	88	1	11	微量	0.7	强

注: V 为镜质组; I 为惰性组; E 为类脂组; Al 为藻类体; B 为沥青质体; TPI 为结构保存指数; GI 为凝胶化指数; 强指强烈凝胶化。

由于煤和碳质泥岩均以薄层状产出,且分布局限,分析数据少。现有的分析数据表明,陇东地区长₂—长₄₊₅段煤的平均有机碳含量为 44.81%,表明其无机矿物含量高,氯仿沥青“A”含量为 0.455 9%,烃含量为 $1.535.63 \times 10^{-6}$,碳质泥岩的平均有机碳含量为 6.50%,氯仿沥青“A”含量为 0.144 6%,烃含量仅为 565.24×10^{-6} ;长₆—长₈段的碳质泥岩平均有机碳含量为 14.35%,氯仿沥青“A”和总烃含量分别为 0.718 4%和 $3.884.7 \times 10^{-6}$ 。陕北地区长₆—长₈煤的有机碳含量平均为 66.75%,氯仿沥青“A”和总烃含量分别为 1.205 0%和 $3.349.9 \times 10^{-6}$ 。总体上,长₆以上段为差-非生油岩,长₆—长₈为中等偏差生油岩的特征。

3 沉积有机相划分及相模式

根据沉积相、有机岩石学和有机地球化学特征,以显微组分组成为主要划相标志(图3),将延长组烃源岩和煤的沉积有机相划分成6种沉积有机相(表7),各相特征和分布如下。

3.1 陆地森林(沼泽)有机相

该相主要发育于冲积平原环境和三角洲平原中,岩性以砂质泥岩为主,煤层厚度变化较大。这种环境经常暴露于潜水面之上,遭受氧化,所以单层厚度不稳定,生物保存程度差,只能形成贫氢煤。

显微组分组成上以富含镜质组、惰性组和贫壳质组为特征;显微煤岩类型以微丝煤和微镜惰煤为主。惰性组主要由氧化丝质体和粗粒体组成,含量在 30%~90%;镜质组以均质镜质体为

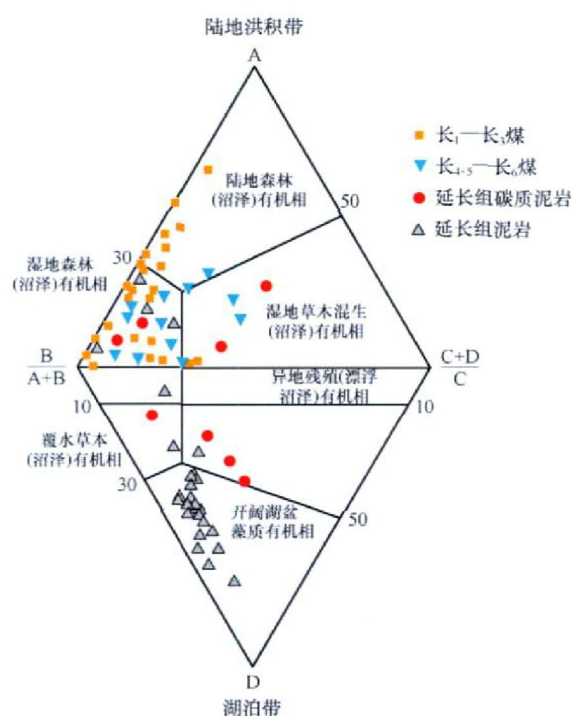


图3 鄂尔多斯盆地三叠系显微组分划分的有机相图解

Fig. 3 Diagram showing organic facies classified according to the maceral composition of the Triassic in the Ordos Basin

A. 惰性组; B. 镜质组; C. 壳质组; D. 藻类体

(上部的三角形代表比较干燥的条件,愈向A端愈干燥;当D端元小于10%时使用这一图解,C与D组元在这一三角形中合并。下部的三角形代表水下环境,愈向D端水体愈深;当D端元大于10%时使用这一图解,A与B组元在这一三角形中合并。)

表 7 鄂尔多斯盆地三叠系沉积有机相划分方案

Table 7 Classification of sedimentary organic facies of the Triassic in the Ordos Basin

划相指标		沉积有机相类型					
		陆地森林(沼泽) 有机相	湿地森林(沼泽) 有机相	湿地草木混生 (沼泽)有机相	覆水草本(沼泽) 有机相	异地残殖(漂浮 沼泽)有机相	开阔湖盆藻质 有机相
有机岩石学特征	宏观煤岩类型	丝炭、暗煤	镜煤、亮煤	亮煤	腐泥煤	亮煤、暗煤	暗煤、腐泥煤
	V 含量, %	< 70	> 70	< 70	< 70	V + I 含量 = 40~ 70	V + I 含量 < 40
	I 含量, %	> 30	< 30	> 50	< 10		
	E 含量, %	0~ 10	< 30	10~ 30	40~ 60	40~ 60	> 60
	组分特点	镜质体、丝 质体为主	基质镜质体、 碎屑体	富氢镜质体、 基质镜质体	富含藻类体、 孢子体、碎屑体	角质体、孢子体	藻类体、角质体
	T_i	- 100~ - 50	- 65~ 0	- 50~ 50	- 10~ 65	- 50~ 65	10~ 100
	植物类别	高等植物	高等植物	草木混生	草本植物为主	高等植物类	低等生物为主
沉积环境 (煤相)	显微煤岩类型*	微丝煤	微镜煤、微亮煤	微亮煤、富孢子 微亮煤、微镜煤	微三合煤、 微矿化煤	微亮煤	微暗煤
	V/I 含量比	< 2	> 2	< 2	> 2	> 2	> 2
	GI^*	1~ 2	2~ 50	> 10	> 20	0~ 50	> 50
	TPI^*	0~ 2	2~ 6	0~ 6	0~ 2	< 1	< 1
	水动力条件	潜水面以上	潜水面以下	浅覆水	深覆水	潜水面以下、流水	深水
	氧化还原性	氧化	弱氧化- 还原	弱氧化- 还原	弱氧化- 还原	弱还原- 氧化	强还原
	沉积环境	冲积平原	三角洲平原	滨浅湖	开阔湖盆	开阔湖盆	半深湖- 深湖
有机地化特征	H/C 原子比	< 0. 8	0. 8~ 1. 2	1. 0~ 1. 3	1. 2~ 1. 4	1. 1~ 1. 4	> 1. 4
	$HI/(mg \cdot g^{-1})$	< 100	50~ 250	200~ 400	300~ 600	250~ 600	> 600
	$(S_1 + S_2)/(mg \cdot g^{-1})$	< 50	50~ 200	100~ 300	> 300	200~ 300	> 300
	有机质类型	Ⅱ型	Ⅱ型	Ⅱ- Ⅲ型	Ⅱ型	Ⅱ型	Ⅰ- Ⅱ型
	生烃性	生气为主	生气为主	油和气	油和气	油和气	油和气
成烃方向		煤、煤成气	煤、煤成气	油、气、煤	油、气、煤	油、气、煤	油、油型气
Jones 有机相		D, CD	CD, C	C, BC	C, BC, B	BC, B	B, AB, A

注: * 仅用于描述煤层。
V 为镜质组; I 为惰性组; E 为类脂组; T_i 为有机质类型指数; GI 为凝胶化指数; TPI 为结构保存指数; HI 为氢指数; $S_1 + S_2$ 为可溶烃含量+ 热解烃含量。

主, 植物结构保存程度差; 壳质组含量一般低于 5%。泥岩中的有机成分也是以富集惰性组和镜质组为主要特征, 它反映了一种偏氧化的沼泽环境。

在镜质体反射率小于 0. 5% 时, H/C 原子比小于 0. 8, 氢指数低于 100 mg/g。有机碳含量是沼泽相和非沼泽相区分的标志, 因为不同的有机质富集状态(煤、暗色泥岩和碳质泥岩), 有机碳含量变化很大。煤的氯仿沥青“ A ”含量一般在 1. 0%, 总烃含量不足 0. 5%, 烃转化率在 0. 5% 以下; 饱和烃气相色谱主峰碳一般在 C_{25} , C_{27} 和 C_{29} , Pr/Ph 值一般大于 1, 大多数在 3 以上。

地化指标反映了该相主要成煤和形成 Ⅱ型干酪根的气源岩, 但它不是好的生油相, 主要发育于长₁—长₃ 段。

3. 2 湿地森林(沼泽)有机相

该相在盆地周缘的广大地区均有分布。煤中以具有荧光的基质镜质体含量高为主要特征, 一般含量为 30% ~ 50%; 壳质组含量一般小于 10%; 惰性组含量一般高于 5%。泥岩中以碎屑镜质体和角质体为主, 大量的壳屑体可能是角质体破碎和降解的产物, 少量的镜质体碎屑显示有再循环的特征。

镜质体反射率小于 0. 5% 时, H/C 原子比在 0. 8 ~ 1. 2, 生油潜量 $S_1 + S_2$ 为 50~ 250 mg/g, 干酪根类型以 Ⅱ型和 Ⅱ_E 型为主。煤的氯仿沥青“ A ”含量和总烃含量变化大, 一般为 0. 1% ~ 3. 0% 和 0. 2% ~ 3. 0%; 正构烷烃分布往往以 C_{25} 为主峰, 也有 C_{23} 和 C_{27} 主峰碳, Pr/Ph 值一般在 1~ 3。

地化指标显示该相以成煤为主,少量富含倾向性的镜质体(基质镜质体)和类脂组显微组分的煤和烃源岩具有一定的生烃潜力;惰性组含量较高,一般在10%以上,平均达20%~30%。

在岩相古地理图上,常发育于冲积平原和湖泊之间的过渡地带,如河流相的漫滩亚相及牛轭湖和三角洲的各种亚相等。由于潜水面低,沼泽经常处于覆水阶段,造成的环境多为弱氧化-还原环境,加之气候温暖、湿润,有利于植物的生长和发育,使得本区煤系十分发育。该有机相主要分布于长₁和长₄₊₅的煤层沉积。

3.3 湿地草本混生(沼泽)有机相

该相主要发育于湖盆边缘相带中,如三角洲的分流间湾、前三角洲及湖泊边缘沼泽相中,在湖泊萎缩、淤浅过程中特别发育。岩性多为灰黑色泥岩和腐殖-腐泥煤,单层厚度比较稳定,具有弱还原环境,有利于富氢煤的形成。有机质母质以草本蕨类植物为主,混生有木本植物。镜质组和惰性组含量较湿地森林沼泽有机相要低,形成微三合煤或碳质泥岩、沥青质的微亮煤。由于覆水相对较深,宏观底栖藻类和浮游藻类较为发育。同时,由于位于湖泊边缘,水流作用较为强烈,导致植物强烈分解,形成以基质镜质体为主体(或富氢镜质体)的泥炭沼泽相,它相当于Teichmüller的“芦苇沼泽”相。此相可富集大量的孢子体,凝胶化指数和镜惰比较高,但由于水流作用的机械分解作用,导致结构保存指数很低。宏观上表现为具有亮线纹理的亮煤,贝壳断口;显微煤岩类型为微亮煤、富孢子微亮煤等,均匀结构。

低演化阶段时,H/C原子比在1.0~1.3,氢指数为200~400 mg/g,生油潜量 $S_1 + S_2$ 为100~300 mg/g,有机质类型多为II₂-III型,表明该相不仅成煤,还具有较高的油气生成潜力。准噶尔盆地和吐哈盆地侏罗系煤成油与该相带的煤密切相关,部分延长组的煤具有该相特征。如瓦窑堡煤系就是其中典型的一例,其煤的显微组分以基质镜质体为主,最高含量可达60%以上;类脂组中含有大量的孢子体,角质体和藻类体也是类脂组中常见的组分。在南家咀煤矿和洪水沟煤矿中,地化特征分别表现为:氢指数为265 mg/g,有

机碳含量为241 mg/g,生油潜量 $S_1 + S_2$ 分别为209.99 mg/g和174.41 mg/g。在安塞油田,长₄₊₅和长₆的煤岩显微组分最突出的特点就是富氢组分含量高,大部分煤富含壳质组,少量的富含藻类体。

3.4 覆水草本(沼泽)有机相

此相发育于湖泊水体中,其有机质主要来源于草本植物或藻类体(多为宏观底栖藻类),由漂浮植物(浮游藻类)、水生动物及丰富的细菌物质聚集而成。其他如粘土、孢子、碎屑惰性体等由水流或风携带入湖,形成富含类脂组显微组分的烃源岩和腐殖-腐泥煤、腐泥煤。这种相带中的煤往往灰分含量较高,大部分形成的是劣质煤和碳质泥岩。煤和烃源岩均富含孢子体、角质体和藻类体。煤的显微结构为碎屑结构;其煤岩类型主要是暗煤、微亮煤和藻煤,微三合煤、微孢子亮煤、微角质亮煤为多,镜质组含量相对较小;煤中的沥青质体、烃源岩中的矿物沥青基质含量较高,GI值为4~10。

有机地化特征表现为H/C原子比在1.2~1.4,氢指数大于300~600 mg/g,生油潜量 $S_1 + S_2$ 大于300 mg/g,有机质类型大部分为II型。其中典型的腐泥煤(如藻煤)及其相似显微组分构成的烃源岩为I型,此外发育少量的II₂型有机质。

该相带有机质的转化方向取决于有机质的成熟度,既可以转化形成良好的油源岩,也可以形成劣质煤和油页岩。

在延长组沉积中期,尤其是长₇段,在盆地西南和南部,分布有厚层油页岩,纵向上和水下扇体相叠置,岩心外表常挂“白盐霜”和硫黄,可能生成于滞水半封闭环境^①。铜川地面油页岩干酪根镜检结果主要是无定形颗粒,见有显微藻类,特别是宏观底栖藻类相对发育。从镜检结果看,藻类来源的无定形占46.50%,壳质组含量为2.25%,镜质组含量为42.25%,惰性组含量为9.00%;其母质类型属于II型。陇东地区镜检结果表明,无定形含量达80%左右,母质类型表现为I-II₁型。但地球化学特征表明,尽管有机碳含量高,铜川为24.62%,陇东地区为10.0%~30.0%,但烃转化能力较低,为1%~3%,饱和烃含量低,一般小于20%,沥青质含量常常在30%以上,甚至可高达

① 陈安定. 陕甘宁盆地中生界生油层特征及评价. 长庆油田研究院, 1984

60%,这些特征又表现为腐殖型母质特征。这种类型主要是由宏观底栖藻类的性质所决定的,宏观底栖藻类的生烃特点和性质介于显微藻类 and 高等植物母质之间,故而表现为混合的特征。

3.5 异地残殖(漂浮沼泽)有机相

这是一种特殊的有机相类型,它可以形成于覆水草本沼泽有机相,也可形成于开阔湖盆,是由水流将陆地沼泽或湖泊边缘沼泽中的泥炭带入异地沉积场所所致。在异地搬运过程中,泥炭经过氧化、分选而选择性保存稳定组分,因此特别富集孢子体、角质体等,往往形成角质残殖煤、孢子煤或烛煤,并含有一些藻类等低等生物形成的有机质以及由类似前身物质转变而来的沥青质体,类脂组含量一般在10%以上,藻类体主要是一些淡水的皮拉藻。煤的类型可由高壳质组含量的腐殖煤过渡到腐泥煤,且常含有较多的粘土矿物。暗色泥岩中的有机质组成和煤相似,一般角质体的形态不完整,含有较多的黄铁矿,镜质组含量常常低于50%。总之,该相的有机质先质主要是一些水生植物及浮游生物遗体和外来的高等植物的树叶、孢子和花粉等,它处于一种低腐殖酸的水下沉积环境。

在低成熟阶段,H/C原子比为1.1~1.4,氢指数大于250~600 mg/g,反映了该相更趋于生油。延长组长₆段的薄煤层和碳质泥岩常发育该沉积有机相,它们不仅富含壳质组(含量可达20%),而且藻类体和沥青质含量也可达10%以上,最高达29%。

3.6 开阔湖盆藻质有机相

该相中的有机显微组分主要是藻类体、沥青质体和矿物沥青基质,可见有少量的高等植物碎屑,H/C原子比大于1.4,氢指数在600 mg/g以上,有机质类型为I-II₁型,主要形成碳质泥岩或沥青质泥页岩或油页岩,发育于浅湖的泥坪和半深湖环境,为深水沉积。该相具有很高的生油潜力。延长组长₆—长₈段的湖相泥岩主要发育该沉积有机相,藻类体及沥青质体含量较高,最高可达80%左右,含烃量可达到 $1\ 400 \times 10^{-6}$ 以上。

由于有机相和沉积相的密切关系,因此这些有机相在时空上也互为过渡,发生有规律的相序递变。根据上述分析结果,按照有机质沉积时的覆水和氧化-还原程度,延长组沉积有机相模式为

陆地森林沼泽相-湿地森林沼泽相-湿地草木混生沼泽相-覆水草本沼泽相-开阔湖盆藻质相-异地成因沼泽相(图4),相应的沉积相序列为冲积平原相-三角洲相-湖泊相。其中,湿地森林沼泽相和开阔湖盆藻质相是三叠系最重要的有机相,也是延长组成油和成煤的主要有机相类型。

以上有机相分析研究表明,典型的煤和油源岩发育于不同的有机相中。此外,还存在煤和油源岩之间的过渡类型的有机相,既可成煤,也可形成油气。但这类有机相不是鄂尔多斯盆地三叠系主要的有机相类型,并且往往仅仅是局部发育,对鄂尔多斯盆地三叠系总体油、气、煤的空间架构影响不大。

4 不同有机相的油气生成潜力

煤、油、气是有机相中有机质转化的产物,其转化方向主要取决于母质类型。油气生成潜力则是由有机质丰度和类型共同确定的,即是由组成各有机相的显微组分特征和数量决定的。开阔湖盆藻质相的主要显微组分是藻类体(浮游藻类),覆水草本(沼泽)有机相的主要母质是水生草本厥类植物和宏观底栖藻类,它们的特征显微组分主要是富氢的基质镜质体和藻类体(浮游藻类和底栖藻类);湿地草木混生(沼泽)有机相以草本厥类植物和木本植物为母源,显微组分组成特征是高含量的富氢基质镜质体和类脂组;湿地森林(沼泽)有机相的原始植物类型主要是木本植物,主要的显微组分是镜质体;陆地森林(沼泽)有机相由于经常暴露无遗于氧化环境,因此其显微组分组成富含惰性组。

岩石热解实验结果表明,油气生烃潜力以浮游藻类和树脂体最高,其他类型的油气生成潜力顺序依次为高等植物类脂组、宏观藻类、富氢镜质体、镜质体和惰性组(图5)。以浮游藻类为主体母质的开阔湖盆藻质有机相的油气生成潜力是森林泥炭沼泽相的母质镜质组生油潜力的5~20倍。根据生烃潜力结果比较来看,开阔湖盆藻质有机相主要生油;而陆地森林(泥炭沼泽)有机相和湿地森林(泥炭沼泽)有机相主要成煤和II型干酪根的腐殖型气;覆水草本植物(沼泽)有机相偏生油相,异地残殖(漂浮沼泽)有机相和湿地草木混生(沼泽)有机相则偏成煤相,但都具有相当的油气生成潜力。

相类型	陆地森林 (沼泽)相	湿地森林 (沼泽)相	湿地草木混生 (沼泽)相	覆水草本 (沼泽)相	开阔湖盆藻质相
主要植物潜水面	异地残殖(漂浮沼泽)相				
pH值	3~6	3~6	5~6	6~8	7~9
煤岩类型	暗煤、镜煤	镜煤、亮煤	沥青质亮煤	暗煤、亮暗煤	烛煤、藻煤
干酪根类型	Ⅲ ₂ 型	Ⅲ ₁ -Ⅲ ₂ 型	Ⅲ ₁ -Ⅱ ₂ 型	Ⅲ ₁ -Ⅱ ₂ 型	Ⅱ-Ⅰ ₁ 型
V/I含量比	<1	>1	≥1	≥1	
GI	1~2	2~50	2~50	0~50	2~10
TPI	0~2	2~6	2~6	0~2	<1
H/C原子比	<0.8	0.8~1.2	1.0~1.2	1.0~1.4	>1.4
煤中的有机碳含量, %	>60	>70	>60	>40	>40
HI	<100	50~200	100~300	300~600	>600
S ₁ +S ₂	<50	50~100	100~200	200~300	>300
沉积环境	冲积平原	三角洲平原、滨湖		浅湖	开阔湖盆

图4 鄂尔多斯盆地三叠系沉积有机相模式

Fig. 4 Sedimentary organic facies model of the Triassic in the Ordos Basin

(V 为镜质组; I 为惰性组; GI 为凝胶化指数; TPI 为结构保存指数; HI 为氢指数; S₁+S₂ 为可溶烃含量+ 热解烃含量。)

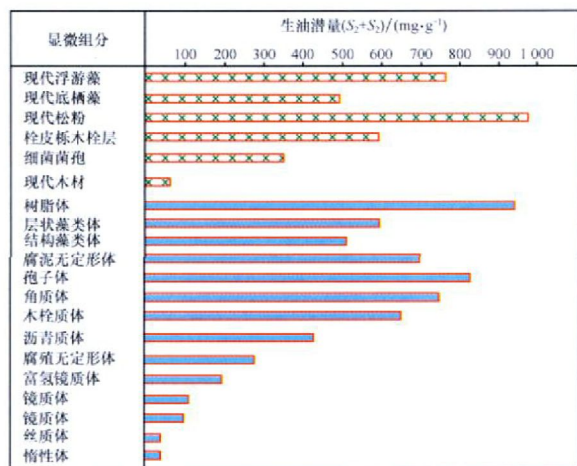


图5 鄂尔多斯盆地三叠系不同生烃母质生油潜量

Fig. 5 Oil-generating potential of different types of kerogen in the Triassic of the Ordos Basin

5 结语

鄂尔多斯盆地三叠系油、气、煤同盆共存, 并有一定的成因联系。它们都共同来源于沉积有机质, 但由于有机质来源的不同和地球化学转化过

程的差异, 将导致可燃有机矿产的多样性。控制生物先质的转化方向取决于沉积有机相。沉积有机相由于集沉积学、有机岩石学和有机地球化学于一体, 所以是评价盆地煤、油、气等能源矿产的最有效方法。本文通过沉积有机相对鄂尔多斯盆地三叠系油、气、煤的生成条件进行了综合剖析。典型的油源岩和典型的腐殖煤是两种极端的有机相, 也是鄂尔多斯和其他煤、油、气共存盆地的共同特征和主要的有机相类型。但鄂尔多斯盆地三叠系存在一系列的由煤到油转化的过渡类型的有机相, 对三叠系油、气、煤成因理论及多种能源共同勘探有着重要的意义。然而沉积有机相的研究往往是定性的, 不利于生产应用。定量有机相评价模型是沉积有机相研究的必由之路。

参 考 文 献

- 1 Teichmüller M. The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology[J]. International Journal of Coal Geology, 1989, 12 (1-4): 1-87

(下转第89页)

气的环烷烃和苯含量低,其 MCC_6/nC_7 小于 0.5 和甲苯/苯大于 0.4; 后期阶段原油裂解气以环烷烃和苯含量高为特征,其 MCC_6/nC_7 大于 0.9。

2) 民丰沙四段天然气和凝析油的 $\ln(C_1/C_2)$ 值为 2~6, $\ln(C_2/C_3)$ 值为 1.0~1.5, $\ln(C_1/C_2)$ 比 $\ln(C_2/C_3)$ 变化大,为源岩热解气特征。而且在 C_6-C_7 轻烃中,以环烷烃和芳烃含量高为特征,其甲基环己烷指数为 38%~46%,环己烷指数为 21%~23%,苯指数为 11%~25%, MCC_6/nC_7 为 0.8~1.3,与高成熟阶段源岩热解气的特征相似。因此认为民丰沙四段天然气是源岩热解气成因。

参 考 文 献

- 1 秦建中,刘宝泉,郑伦举,等.海相碳酸盐岩烃源岩生排烃能力研究[J].石油与天然气地质,2006,27(3):348~355
- 2 冯子辉,迟元林,杜洪文,等.原油在储层介质中的加水裂解生气模拟实验[J].沉积学报,2002,20(3):506~509
- 3 秦建中,金聚畅,刘宝泉.海相不同类型烃源岩有机质丰度热演化规律[J].石油与天然气地质,2005,26(2):177~184
- 4 陈义才,沈忠民,黄泽光,等.碳酸盐烃源岩排烃模拟模型及应用——以鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组为例[J].石油与天然

气地质,2002,23(3):203~206

- 5 张有生,秦勇,刘焕杰,等.沉积有机质二次生烃热模拟实验研究[J].地球化学,2002,31(3):273~281
- 6 李术元,林世静,郭绍辉,等.矿物质对干酪根热解生烃过程的影响[J].石油大学学报(自然科学版),2002,26(1):69~74
- 7 金强.裂谷盆地生油层中火山岩及其矿物与有机质的相互作用——油气生成的催化和加氢作用研究进展及展望.地球科学进展,1998,13(6):542~546.
- 8 卢双舫,付晓泰,刘晓艳,等.油成气的动力学模型及其标定[J].天然气工业,1996,16(6):6~8
- 9 卢双舫,付晓泰,陈昕,等.原油族组分成气的化学动力学模型及其标定[J].地质学报,1997,71(4):367~373
- 10 王建宝,肖贤明,郭汝泰,等.渤海湾盆地东营凹陷烃源岩生烃动力学研究[J].石油实验地质,2003,25(4):403~409
- 11 胡锡麟,戈葆雄,张义纲,等.源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[J].石油实验地质,1990,12(4):375~393
- 12 胡国艺,罗霞,李剑,等.两种裂解气中轻烃组成差异性及其应用[J].天然气工业,2005,25(9):23~25
- 13 李政,李钜源,徐兴友,等.济阳坳陷煤系烃源岩生物标志化合物与同位素对比研究[J].石油与天然气地质,2006,27(5):696~701
- 14 林武,李政,李钜源,等.济阳坳陷孤北潜山带天然气成因类型分布规律[J].石油与天然气地质,2007,28(3):429~426

(编辑 董立)

(上接第84页)

- 2 金奎励,王宜林.新疆准噶尔煤成油[M].北京:石油工业出版社,1997.109~124
- 3 张鹏飞,金奎励,吴涛,等.吐哈盆地含煤沉积与煤成油[M].北京:煤炭工业出版社,1997.242~249
- 4 彭立才,柯慧珠,刘兰桂,等.柴达木盆地北缘侏罗系烃源有机相划分及评价[J].石油与天然气地质,2001,22(2):178~181
- 5 Jones R. Organic facies[A]. In: Welte D, ed. Advance in petroleum geochemistry[M]. London: Academic Press, 1987. 1~89
- 6 Tyson R. Sequence stratigraphical interpretation of organic facies variation in marine siliciclastic system: general principal and application to the onshore Kimmeridge clay formation [A]. In: Hesselbo S, Parkinson D, eds. Sequence stratigraphy in British Geology[C]. London: Geology Society Special Publication, 1996. 75~96
- 7 杨明慧,刘池洋.鄂尔多斯中生代陆相盆地层序地层格架及多种能源矿产聚集[J].石油与天然气地质,2006,27(4):563~570
- 8 陈洪德,倪新锋.陇东地区三叠系延长组沉积层序及充填响应特征[J].石油与天然气地质,2006,27(2):143~151
- 9 胡见义,黄第藩,徐树宝,等.中国陆相石油地质理论基础[M].北京:石油工业出版社,1991.164~234
- 10 黄第藩,华阿新,王铁冠,等.煤成油地球化学新进展[M].北京:石油工业出版社,1992.1~20

- 11 温爱琴,范久霄.鄂尔多斯盆地镇-泾地区三叠系烃源岩地化特征及勘探前景[J].河南石油,2003,17(2):15~17
- 12 马素萍,漆亚玲,张晓宝,等.西峰油田延长组烃源岩生烃潜力评价[J].石油勘探与开发,2005,32(3):21~54
- 13 武明辉,张刘平,罗晓容,等.西峰油田延长组8段储层流体作用期次分析[J].石油与天然气地质,2006,27(1):33~36
- 14 李红,柳益群,刘林玉.鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长8-1低渗透储层成岩作用[J].石油与天然气地质,2006,27(2):209~217
- 15 Largeau C, Derenne S, Casadevall E, et al. Occurrence and origin of "ultralaminar" structure in "amorphous" kerogens of various source rocks and oil shale[J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(4-6):889~895
- 16 姚素平,张景荣,王可仁,等.鄂尔多斯盆地延安组煤有机岩石学研究[J].沉积学报,1999,17(2):291~300
- 17 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,1996.263~278
- 18 Diessel C. On the correlation between coal facies and depositional environments[R]. Newcastle, Australia: 20th Symposium, University of Newcastle, Australia, 1986. 19~22

(编辑 李军)