

鄂尔多斯盆地吴起—志丹地区 长10烃源岩特征与生烃潜力

王香增¹, 贺永红², 张立宽³, 付明义²

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司, 陕西 西安 710075;

2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075;

3. 中国科学院油气资源研究重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要:鄂尔多斯盆地中部志丹—吴起地区延长组长10油层组顶部发育一套湖相暗色泥岩, 确定该套烃源岩的地质地球化学特征及生烃潜力对该区油气勘探有重要意义。利用岩心和测井资料, 研究了长10暗色泥岩的分布特征, 通过开展岩石热解、干酪根显微组分、镜质体反射率、可溶有机质族组分及饱和烃色谱—质谱等有机地球化学测试和分析, 评价了长10烃源岩的生烃潜力。研究表明, 长10暗色泥岩分布广泛, 厚度为5~20m; 烃源岩有机质丰度和生烃转化率较高, 有机质母质中陆源植物生源贡献较大, 主要为Ⅱ型和Ⅲ型干酪根, 有机质热演化程度达到成熟生油阶段, 总体评价为较好—好烃源岩。长10烃源岩的生物标志化合物特征有别于长7烃源岩和长9烃源岩, 具有高Pr/Ph值、 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷呈反“L”型分布的典型特征。长10烃源岩的生烃量较大, 是鄂尔多斯盆地中生界另外一套重要的有效烃源岩, 该套烃源岩的发现为鄂尔多斯盆地中部延长组下组合的深入勘探提供了科学依据。

关键词:长10烃源岩; 地球化学; 生烃潜力; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2013)03-0461-09

引用格式: Wang Xiangzeng, He Yonghong, Zhang Likuan, *et al.* Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potentials of Chang 10 source rock in Wuqi-Zhidan area, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 461-469. [王香增, 贺永红, 张立宽, 等. 鄂尔多斯盆地吴起—志丹地区长10烃源岩特征与生烃潜力[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(3): 461-469.]

0 引言

鄂尔多斯盆地吴起—志丹地区位于伊陕斜坡带的中西部(图1), 是具有百余年石油勘探历史的老区, 上三叠统延长组为主要的含油层系, 自下而上分为长10—长1共10个油层组, 储层表现出低渗—超低渗和多层普遍含油的特点^[1-2]。油源在鄂尔多斯盆地中生界低渗—超低渗储层油气成藏和富集中起到关键的控制作用^[3-4], 因而烃源岩供烃潜力问题一直备受人们重视^[3,5-9]。前人对烃源岩和原油地球

化学研究表明, 长7和长9是2套主要的优质烃源岩, 其中长7湖相富有机质的泥页岩为盆地中生界油藏的主力油源岩^[2-3,10], 长9段黑色泥岩的生排烃能力也较强, 但局限在志丹南部地区, 为重要的区带生油岩^[11-13]。近年来, 随着研究区中生界石油勘探逐渐深入到延长组下组合(长8油层组—长10油层组), 新近钻井在长10油层组顶部发现了灰黑色泥质岩, 若该套暗色泥岩能够作为另一套有效烃源岩, 必将对延长组下组合的勘探起到积极的推动作用。因此, 笔者利用岩心和测井资料识别长10油层组暗

收稿日期: 2013-03-05; 修回日期: 2013-05-03.

基金项目: 国家重大科技专项(编号: 2011ZX05008-004)资助.

作者简介: 王香增(1968-), 男, 河南滑县人, 教授级高级工程师, 主要从事石油天然气地质研究及勘探开发管理工作.

E-mail: sxycpcwzx@126.com.

色泥岩的分布特征,通过开展详细的有机地球化学测试,评价其生烃潜力及对下组合油藏的油源作用,将有助于深化盆地中部延长组下组合石油成藏机理的认识,并对拓展中生界的勘探空间具有重要意义。

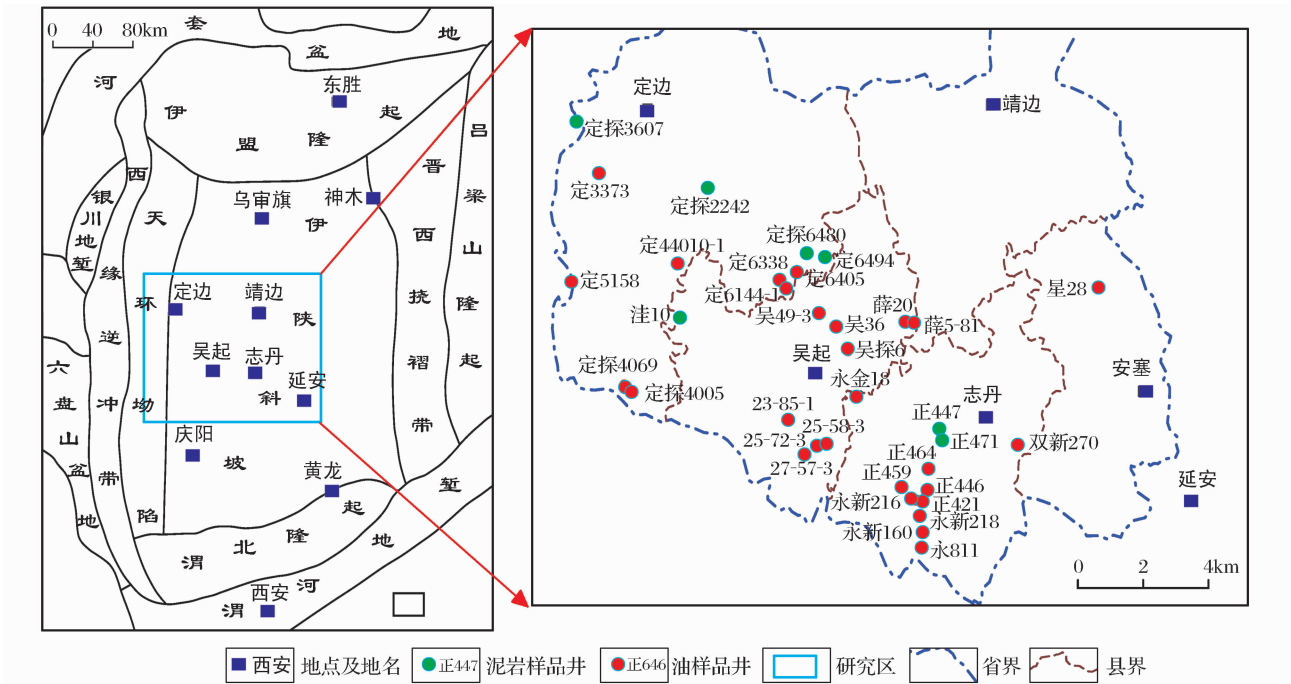


图1 鄂尔多斯盆地吴起—志丹地区位置及测试样品井位分布特征

1 长10 烃源岩空间分布特征

受印支期运动的影响,鄂尔多斯盆地自晚三叠世进入大型陆相淡水湖盆演化阶段^[14-15],延长组沉积期经历了湖进—湖退的旋回^[16],长10 油层组—长7 油层组沉积期为湖进期,长7 油层组为湖泊发育鼎盛时期的沉积,发育稳定的半深湖相—深湖相暗色泥页岩优质烃源岩^[17],长10 油层组及长9 油层组属于晚三叠世湖盆早期充填的地层,局部凹陷地区的湖泛能够为泥质烃源岩形成提供条件^[11]。

研究区钻井岩心和测井资料表明,长10 油层组厚度一般为240~300m,油层组的顶部发育暗色泥岩段,泥岩厚几米到十几米,呈灰黑色,质纯性脆,偶见介形虫化石,表现为含较多有机质的半深湖相—浅湖相沉积特征;长10 油层组中下部泥岩一般为灰绿色,夹于厚层块状中粗砂岩之间。由于暗色泥岩具有较高含量的有机质和放射性元素,测井响应特征与有机质丰度较低的泥岩及砂质泥岩存在差别^[12]。通过岩心与测井曲线对比发现,长10 油层组暗色泥岩的典型电性特征表现为:高自然伽马、相对高的电阻率和声波时差。

利用200 余口测井资料识别和统计了长10 油层组顶部的暗色泥岩厚度,新绘制的志丹—吴起地

区暗色泥岩厚度图显示(图2),长10 烃源岩主要分布在西北部及中部地区,累计厚度在5~20m 之间,厚度大于15m 的区域主要包括定边、靖边西南部、红柳沟和吴起等地区,大于10m 的暗色泥岩分布面积约为6 285km²;东南部志丹地区也有薄层暗色泥岩,其他地区的暗色泥岩不发育。暗色泥岩的分布特征进一步反映出湖盆发育早期湖泛规模较小,只在局部范围水体相对较深,具有多凹、浅凹的特征,长10 烃源岩的分布受沉积格局控制。

2 长10 烃源岩有机地球化学特征

本文研究共采集7 口井10 块长10 油层组灰黑色泥岩样品(图1),系统完成了岩石热解、干酪根显微组分、镜质体反射率和饱和烃色谱—质谱等地球化学测试,对该套烃源岩的有机地球化学特征及生烃潜力进行了分析。

2.1 有机质丰度

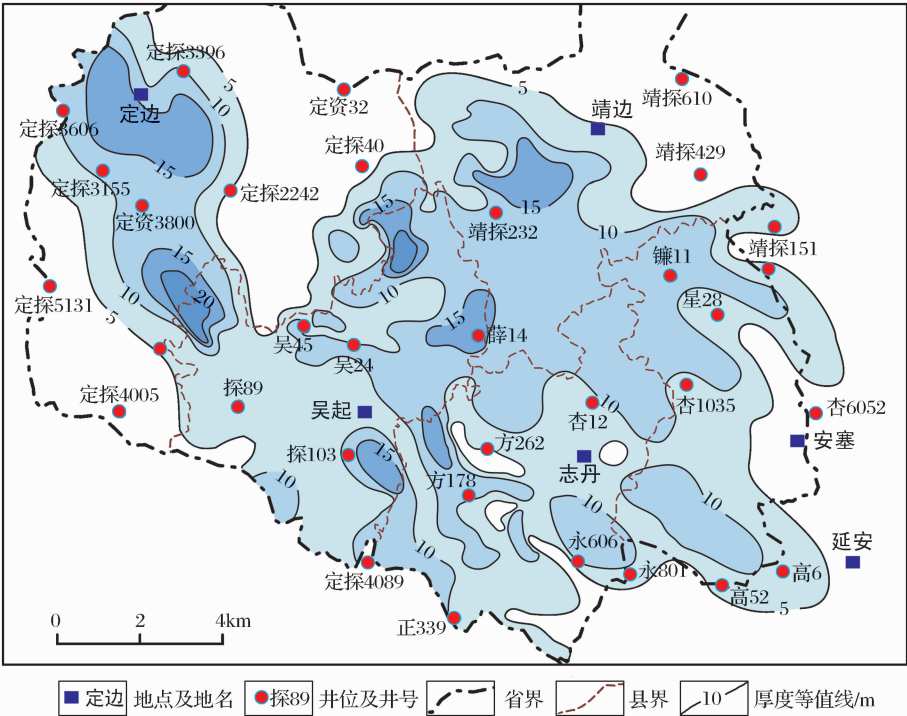
有机质丰度是评价烃源岩生烃能力和规模的重要指标,长10 油层组暗色泥岩样品的有机碳含量(TOC)、氯仿沥青“A”含量、总烃含量(HC) 和热解生烃潜量(S₁+S₂)等测试结果表明(表1):长10 油层组灰黑色泥岩有机碳含量较高,多数分布在0.38%~4.78%之间,平均值为1.79%,其中有1 个样品最高达35.7%;

氯仿沥青“A”含量分布在 0.001 1%~1.259 3%之间,平均值为0.241 7%;氯仿沥青“A”/TOC 值反映了生烃母质向烃类的转化率,主要为0.95%~5.61%,平均值为3.24%;热解生烃潜量主要为 0.45~10.61mg/g,平均值为 4.61mg/g,除 1 个样品生烃潜力值低于 0.5mg/g外,其余样品均大于 2mg/g;总烃含量分布在 $(27\sim4\,922)\times 10^{-6}$ 之间,平均值为 857×10^{-6} 。上述各类有机质丰度指标反映出长 10 油层组灰黑色泥

岩的有机碳含量、生烃潜量及转化率较高,依据“中国陆相烃源岩有机质丰度评价标准”^[18-19],长 10 油层组暗色泥岩总体属较好—好烃源岩。

2.2 有机质性质和类型

有机质性质和类型决定了烃源岩的生烃潜能和烃类产物特征^[20],通过有机质显微组成和多种有机地球化学特征的分析,研究了长 10 烃源岩有机质原始生源、沉积环境及其反映的有机质母质类型。



示(表 2),长 10 油层组暗色泥岩干酪根主要为Ⅱ₂—Ⅲ型,表现出与Ⅰ型干酪根为主的长 7 烃源岩、长 9 烃源岩之间的较大差异性。

2.2.2 烃源岩热解参数

岩石热解参数也常用来确定烃源岩的有机质类型^[21]。长 10 油层组暗色泥岩氢指数(I_H)与最高热解

温度(T_{max})实测数据(表 1)显示,氢指数一般为 61.11~320.2mg/g, T_{max} 值为 437~448℃。在烃源岩 T_{max} 与 I_H 相关图中(图 3),长 10 烃源岩数据主要落在Ⅱ₁—Ⅱ₂ 型及Ⅲ型有机质分布区域。尽管热解参数反映的有机质类型与干酪根显微鉴定略有差异,但总体反映出长 10 烃源岩中包含陆生高等植物生源的重要贡献。

表 2 志丹—吴起地区长 10 油层组灰黑色泥岩干酪根镜下鉴定数据

井号	井深/m	腐泥组/%		壳质组/%				镜质组 /%	惰质组 /%	干酪根	
		无定形体	藻类体	树脂体	孢粉体	角质体	木栓体			指数	类型
正 471 井	2 046.8	12.16	3.53	/	1.96	0.78	/	77.25	4.31	—45.2	Ⅲ
正 471 井	2 068.9	29.05	0.83	0.41	5.39	0.83	/	54.36	9.13	—16.58	Ⅲ
正 447 井	2 082.04	40.82	1.27	0.63	6.01	/	/	46.84	4.43	5.85	Ⅱ ₂
定探 6480 井	2 410	42.23	3.87	/	2.26	0.97	/	42.9	6.77	9.76	Ⅱ ₂
定探 6480 井	2 481	27.31	0.37	/	2.21	/	/	63.47	6.64	—25.46	Ⅲ
洼 10 井	2 537.84	39.29	/	/	0.71	0.36	/	19.64	40	—14.91	Ⅲ
定探 2242 井	2 737.7	27.27	9.38	12.78	4.55	3.13	/	38.92	3.98	13.71	Ⅱ ₂
定探 2242 井	2 781	13.83	8.36	/	6.63	2.59	/	48.99	19.6	—29.54	Ⅲ
定探 3607 井	2 564	29.63	4.38	0.34	9.43	1.01	6.73	41.08	7.41	4.65	Ⅱ ₂

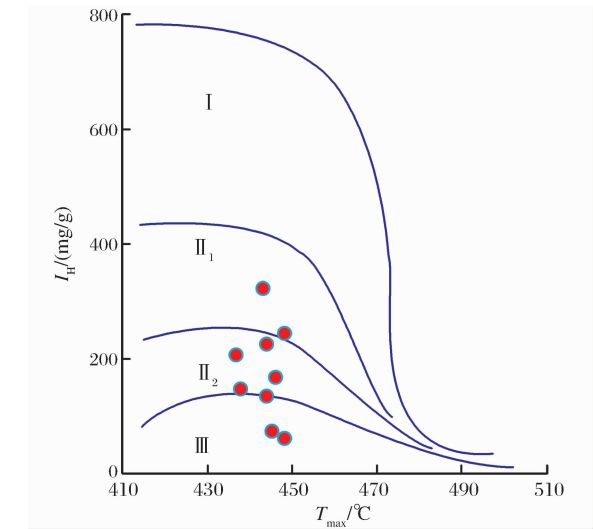


图 3 长 10 油层组暗色泥岩 T_{max} — I_H 相关关系

2.2.3 氯仿沥青“A”族组成

烃源岩可溶有机质的族组成不仅能反映沉积环境和热演化特征,也可以反映烃源岩有机质的母质信息^[22]。长 10 油层组暗色泥岩氯仿沥青“A”族组成的分析结果(图 4)表明,烃类含量在 34.89%~67.07%之间,其中饱和烃含量为 11.63%~68.84%,芳烃含量为 12.06%~37.89%,饱/芳值为 0.5~5.7。族组分总体表现为较低饱和和烃含量和饱/芳值、较高非烃+沥青质的有机质特征,这与Ⅱ—Ⅲ型的干酪根特征相吻合。

2.2.4 饱和烃色谱—质谱生物标志化合物特征

长 10 油层组暗色泥岩饱和烃馏分的气相色谱

分析显示(图 5,表 3),正构烷烃分布多呈双峰态,前峰峰值稍微高于后峰,前峰碳数为 nC_{16} — nC_{20} ,表现

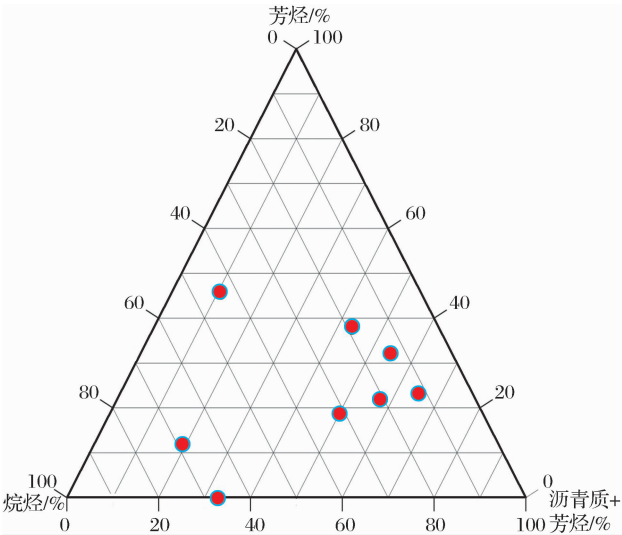


图 4 长 10 油层组暗色泥岩氯仿沥青抽提物族组成三角投点

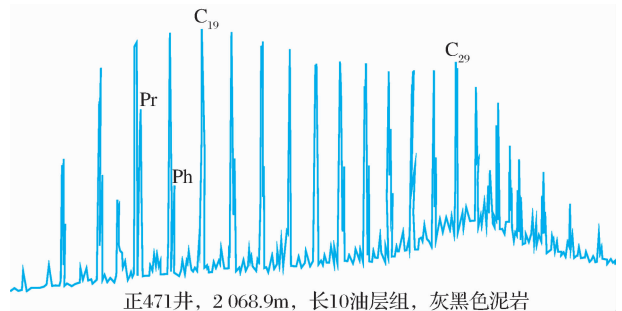


图 5 吴起—志丹地区典型井长 10 油层组暗色泥岩饱和烃气相色谱

出低等水生生物或藻类母质特征,而后峰碳数多为 nC_{29} ,反映有机质中包含相当数量的陆生高等植物生源。异戊二烯烃中姥鲛烷(Pr)相对于植烷(Ph)略占优势,Pr/Ph 值为 1.24~3.93,Pr/ nC_{17} 值和 Ph/ nC_{18} 值分别为 0.43~1.35 和 0.19~0.44,可能指示源岩形成于弱氧化—弱还原条件的淡水沉积环境。

萜烷类化合物的分布特征大致相似,均未见到

β 胡萝卜素(图 6),三环萜类和四环萜类的较低,但富含以低等植物或菌藻类为主要母质的五环三萜类藿烷,其中以 C_{30} 藿烷占显著优势, C_{29} 降藿烷含量高, $17\alpha(H)-C_{30}$ 重排藿烷含量和 C_{29} Ts 含量一般相对较低,个别样品 $17\alpha(H)-C_{30}$ 重排甾烷丰度高(图 6),Ts 与 Tm 相对丰度变化大。伽玛蜡烷含量低,表明长 10 烃源岩处在低盐度的水体环境。

表 3 志丹—吴起地区长 10 油层组灰黑色泥岩饱和烃色谱参数数据

井号	取样深度/m	主峰碳	C_{21-}/C_{22+}	Pr/Ph	Pr/ nC_{17}	Ph/ nC_{18}	CPI	OEP
正 471	2 046.80	C_{20} 和 C_{29}	1.30	2.36	0.77	0.25	1.13	0.89
正 471	2 068.90	C_{19} 和 C_{29}	0.76	2.53	0.51	0.19	1.07	1.04
正 447 井	2 082.04	C_{16} 和 C_{29}	0.78	1.54	0.43	0.34	1.12	0.94
洼 10 井	2 537.84	C_{26}	0.15	1.83	0.71	0.39	1.01	1.00
定探 2242	2 737.70	C_{19} 和 C_{29}	1.04	3.93	1.35	0.31	1.16	1.13
定探 2242	2 781.00	C_{19} 和 C_{25}	0.42	1.38	0.52	0.31	1.05	1.03
定探 6480	2 410.00	C_{19}	1.01	1.75	0.77	0.25	1.08	1.22
定探 6480	2 481.00	C_{19} 和 C_{29}	0.94	2.21	0.64	0.24	1.10	1.05

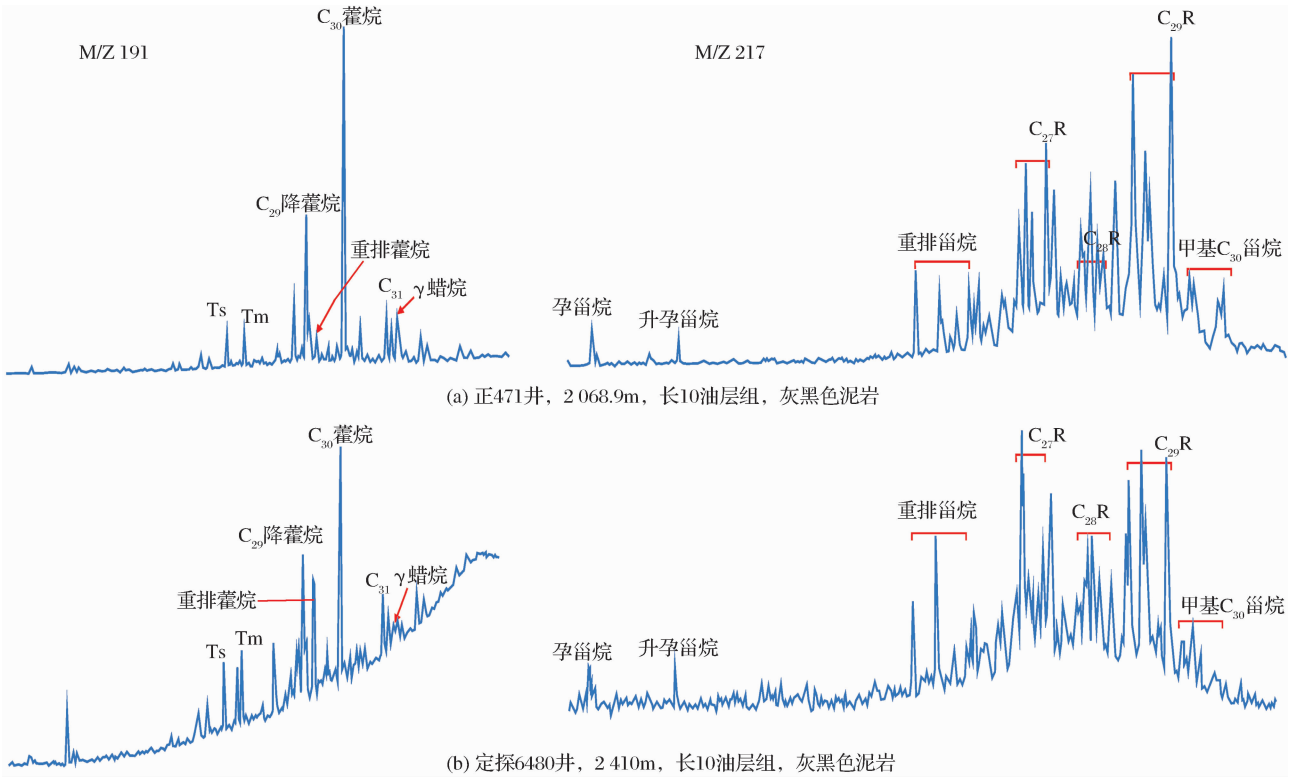


图 6 吴起—志丹地区长 10 油层组暗色泥岩萜类化合物谱

甾烷类化合物中含较多的孕甾烷、升孕甾烷(图 6),具有藻类或细菌指示意义的 4-甲基甾烷含量低,重排甾烷含量较高,规则甾烷丰度最高,其 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型的 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷主要呈反“L”形分布,以来源于高等植物的 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷占优势, C_{28} 甾烷较低, C_{27} 甾烷最低,反映出明显的高等

植物输入有机质的生源特征。
前述各类生物标志化合物特征表明,长 10 油层组暗色泥岩形成于弱氧化—弱还原性的淡水或微咸水环境,有机质母质应属于陆生高等植物与湖生菌藻类或低等生物生源混合输入,部分地区可能以陆生高等植物为主。

2.3 有机质成熟度

有机质成熟度反映了烃源岩有机质向油气转化的热演化程度,干酪根镜质组反射率(R_o)、岩石最高热解温度(T_{max})和饱和烃类生物标志化合物参数是评价烃源岩有机质成熟度的常用指标^[21,23]。

从研究区长 10 油层组暗色泥岩的实测数据来看(表 1,图 7):样品的 R_o 值为 0.6%~1.03%,均已达到陆相有机质成熟的下限值 0.5%,且多数大于 0.7%;岩石最高热解温度(T_{max})除了 3 个样品低

于 440℃(表 1),主要分布于 443~448℃之间;饱和烃色谱参数 OEP 值为 0.89~1.13,CPI 值为 1.01~1.16,无明显的奇偶优势或不明显;规则甾烷异构化参数 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20S/(20R+20S)值为 0.36~0.73(图 7), C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为 0.34~0.49,实测样品数据点分布在成熟烃源岩的范围内^[18]。各项地球化学参数均反映出研究区长 10 油层组暗色泥质烃源岩有机质热演化程度较高,已达到了成熟阶段,正处于生油高峰期。

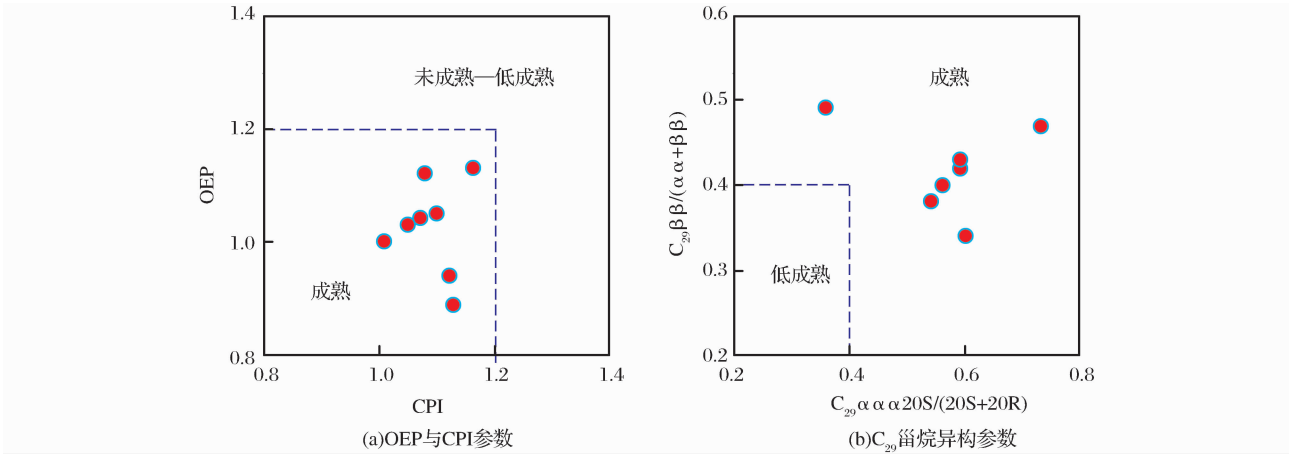


图 7 长 10 油层组暗色泥岩有机质成熟度参数对比

2.4 烃源岩生烃潜力评价

综合上述岩石热解参数、干酪根显微组分、镜质体反射率和饱和烃色谱—质谱等有机地球化学数据表明,长 10 油层组暗色泥岩具有较高的有机质丰度和生烃转化率,有机质母质以陆相植物和湖生低等生物混合输入为主,干酪根类型多属Ⅲ型和Ⅱ型,有机质成熟度处于成熟生油阶段。因而,长 10 油层组暗色泥岩具备较高的生烃潜力,总体评价为一套较好—好的有效烃源岩。

3 长 10 烃源岩的油源作用

根据前人^[2-3,10-12]对长 7 和长 9 优质烃源岩特征的研究认识,2 套源岩的有机质以淡水—微咸水环境下的低等水生生物来源为主,因此生物标志化合物存在较多的相似性(图 8,图 9),具有低 Pr/Ph 值,三环萜类含量较低,藿烷类化合物丰度高,伽马蜡烷含量低,孕甾烷含量和升孕甾烷含量较高,规则甾烷占优势等特征。长 9 烃源岩与长 7 烃源岩生物标志化合物的主要差异表现在:长 9 泥页岩一般以 $17\alpha(H)-C_{30}$ 重排藿烷丰富,重排甾烷含量高、 C_{30} 藿烷含量较低, $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型的 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷呈“V”形分布为特征^[10];而长 7 烃源岩的 C_{30} 藿烷含

量占优势, $17\alpha(H)-C_{30}$ 重排藿烷含量和重排甾烷含量低, $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型规则甾烷主要呈“L”形分布^[11]。

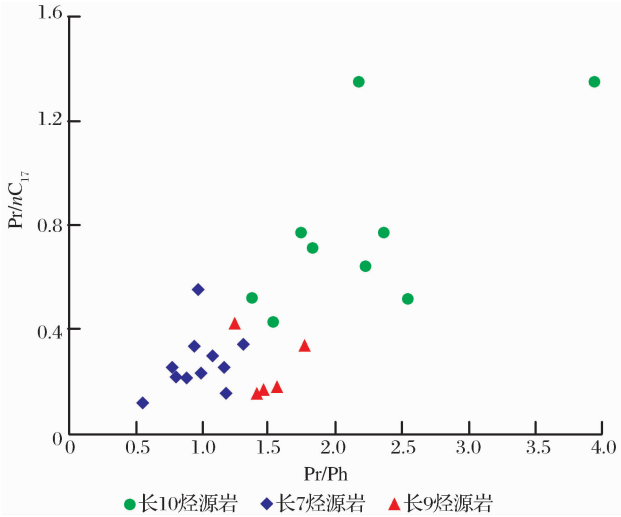


图 8 延长组下组合原油与烃源岩的 Pr/Ph 值与 Pr/nC₁₇ 值对比

长 10 暗色泥岩与长 7 烃源岩、长 9 烃源岩相比(图 8,图 9),甾萜烷类化合物也表现出三环萜类和四环萜类丰度低,伽马蜡烷含量低,孕甾烷、升孕甾烷和规则甾烷丰富等共性,而长 10 油层组泥岩 $17\alpha(H)-C_{30}$ 重排藿烷和重排甾烷分布变化大,可对

比性较差。但由于长10油层组暗色泥岩有机质母质中含大量的陆生高等植物,且发育于弱氧化—弱还原环境,因而长10烃源岩生物标志化合物以高Pr/Ph值、 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型的 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷呈反“L”形分布为典型特征,与长7烃源岩、长9烃源岩具有明显差异。因此,可以根据Pr/Ph值、规则甾烷分布形式的差异与长7烃源岩及长9油源进行区分,再利用 $17\alpha(H)-C_{30}$ 重排藿烷、重排甾烷区分长7烃源岩与长9烃源岩。

利用盆地模拟方法研究了研究区各套烃源岩的

生排油量。从计算结果看,长7烃源岩生油量最大,达 $1\,145.2\times 10^8\text{t}$,排油量为 $756.8\times 10^8\text{t}$;其次是长9烃源岩,生油量为 $98\times 10^8\text{t}$,排油量为 $32.5\times 10^8\text{t}$;长10暗色泥岩累计生油量为 $37.8\times 10^8\text{t}$,排油量为 $12.5\times 10^8\text{t}$,尽管生烃总量低于长7和长9优质源岩,但仍表现出较好的生排烃能力,进一步证实了长10烃源岩是鄂尔多斯盆地中生界另外一套有效烃源岩,该套烃源岩的重要发现为延长组下组合石油勘探向“纵深”突破提供了科学的依据和坚定的信心。

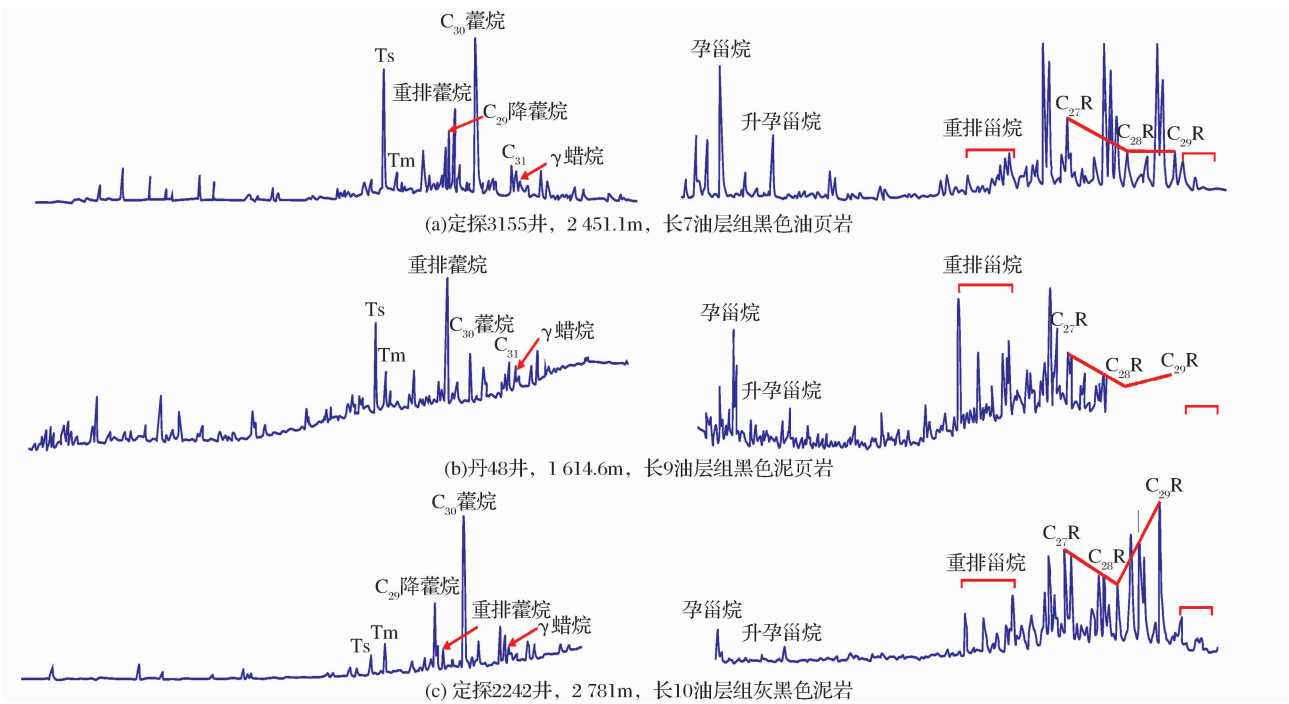


图9 延长组下组合主要烃源岩萜烷类生物标志化合物对比[图9(b)据张文正等^[10],2008]

4 结论

(1)依据岩心观测与测井响应特征,确定鄂尔多斯盆地志丹—吴起地区长10油层组顶部发育一套半深湖相灰黑色泥岩段,其分布范围广泛,累计厚度为5~20m,定边、靖边西南部、红柳沟和吴起等地区厚度大于15m。

(2)有机地球化学特征分析表明,研究区长10油层组暗色泥岩有机质丰度和生烃转化率较高,具有良好的生烃潜力,有机质母质以陆相植物和湖生低等生物混合输入为主,干酪根类型主要为Ⅱ型和Ⅲ型,有机质成熟度处于成熟生油阶段,总体评价为一套较好—好的有效烃源岩。

(3)长10烃源岩生物标志化合物具有高Pr/Ph值、 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 构型 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷呈反“L”形

分布的典型特征,这种差异性区别于长7烃源岩和长9烃源岩的重要标志。

(4)生排烃量模拟证实,长10烃源岩具有一定的生排烃能力,是鄂尔多斯盆地中生界另外一套重要的有效烃源岩,该烃源岩的发现对延长组下组合的深入勘探具有重大意义。

参考文献(References):

[1] Dang Ben,Zhao Hong,Yan Zhouquan,*et al.* Characteristics of Mesozoic reservoirs in the southwest of Zhidan district,Ordos Basin[J]. Natural Gas Geosciences,2003,18(3):356-360. [党 彝,赵虹,燕洲泉,等. 鄂尔多斯盆地志丹探区西南部延安组和延长组储层物性比较研究[J]. 天然气地球科学,2003,18(3):356-360.]

[2] Yang Hua,Zhang Wenzheng. Leading effect of the Seventh Member high-quality source rock of Yanchang Formation in

- Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: Geology and geochemistry [J]. *Geochimica*, 2005, 34(2): 147-154. [杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 地质地球化学特征[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 147-154.]
- [3] Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, *et al.* Leading effect of high-class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation: Hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(3): 289-293. [张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用——强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.]
- [4] Zhang Xiaoli, Duan Yi, He Jinxian, *et al.* Geochemical characteristics of crude oil in lower part of Yanchang Formation and correlation of oil source in Huaqing area of Ordos Basin [J]. *Natural Gas Geosciences*, 2011, 22(5): 866-873. [张晓丽, 段毅, 何金先, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区延长组下油层组原油地球化学特征及油源对比[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 866-873.]
- [5] Yu Jian, Han Yonglin, Ling Shengjie. Geological characteristics and reservoir types of oil fields in Yanchang Formation, Triassic System, Ordos Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2001, 6(4): 13-19. [喻建, 韩永林, 凌升阶. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油田成藏地质特征及油藏类型[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(4): 13-19.]
- [6] He Zixin. The Evolution and Hydrocarbon of Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 2003: 88-91. [何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 88-91.]
- [7] Ma Suping, Qi Yaling, Zhang Xiaobao, *et al.* Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potential of the source rocks in Yanchang Formation, Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(3): 51-55. [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): 51-55.]
- [8] Duan Yi, Wu Baoxiang, Zhang Hui, *et al.* Geochemistry and genesis of crude oil of Xifeng Oilfield in Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(2): 301-310. [段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[J]. 地质学报, 2006, 80(2): 301-310.]
- [9] Xu Shilin, Bao Shujing. Preliminary analysis of shale gas resource potential and favourable areas in Ordos Basin [J]. *Natural Gas Geosciences*, 2009, 20(3): 460-466. [徐士林, 包书景. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩气形成条件及有利发育区预测[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 460-466.]
- [10] Zhang Wenzheng, Yang Hua, Yang Yihua. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang Formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin [J]. *Geochimica*, 2008, 37(1): 59-64. [张文正, 杨华, 杨奕华. 鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 59-64.]
- [11] Zhang Wenzheng, Yang Hua, Fu Suotang, *et al.* Discussion on the genesis of good lacustrine hydrocarbon source rock of Chang 9-1 in Ordos Basin [J]. *Science in China: Earth Sciences*, 2007, 37 (supplement 1): 33-36. [张文正, 杨华, 傅锁堂, 等. 鄂尔多斯盆地长9-1湖相优质烃源岩的发育机制探讨[J]. 中国科学: D辑, 2007, 37(增刊1): 33-36.]
- [12] Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Shanpeng. Hydrocarbon accumulation significance of Chang 9₁ high-quality lacustrine source rocks of Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(5): 557-563. [张文正, 杨华, 李善鹏. 鄂尔多斯盆地长9₁湖相优质烃源岩成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 557-563.]
- [13] Shi Lei, Lu Shuangfang, Li Jijun. Evaluation of source rock of Chang 9 Member, Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. *Science Technology and Engineering*, 2011, 11(20): 4756-4765. [师磊, 卢双舫, 李吉君. 鄂尔多斯盆地长9烃源岩评价[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(20): 4756-4765.]
- [14] Zhai Guangming, Song Jianguo, Jin Jiuqiang, *et al.* Plate Tectonics Evolution and Evaluation and Formation of Hydrocarbon-bearing Basin [M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 2002: 229. [翟光明, 宋建国, 靳久强, 等. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 229.]
- [15] Yang Junjie. Tectonics Evolution and Distribution of Hydrocarbon of Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 2002: 36-101. [杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 36-101.]
- [16] Li Desheng. Return to petroleum geology of Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(6): 1-7. [李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 1-7.]
- [17] Chen Anning, Han Yonglin, Ling Shengjie, *et al.* Geological characteristics and reservoir types of oil fields in Yanchang Formation, Triassic System, Ordos Basin [J]. *Low Permeability Oil & Gas Fields*, 2000, 5(3): 30-39. [陈安宁, 韩永林, 凌升阶, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组成藏地质特征及油藏类型[J]. 低渗透油气田, 2000, 5(3): 30-39.]
- [18] Huang Difan, Li Jinchao, Zhou Zhehong, *et al.* Evolution and Hydrocarbon Generation Mechanisms of Terrestrial Organic Matter [M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 1984: 17-152. [黄第藩, 李晋超, 周翥红, 等. 陆相有机质演化和成烃机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984: 17-152.]
- [19] Wang Tieguan, Zhong Ningning, Hou Dujie, *et al.* Generation Mechanisms and Distribution of Low Material Hydrocarbon [M]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 1995: 77-135. [王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 低熟油气的形成机理与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 77-135.]
- [20] Wang Tieguan, Zhong Ningning, Xiong Bo, *et al.* Organic petrologic methodology for evaluation of hydrocarbon generation potential in source rocks [J]. *Acta Petrolei Acta*, 1994, 15(4): 9-16. [王铁冠, 钟宁宁, 熊波, 等. 源岩生烃潜力的有机岩石学

- 评价方法[J]. 石油学报, 1994, 15(4): 9-16.]
- [21] Wu Liyan, Gu Xinzhang. The application of pyrolysis technique in source rock research[J]. Acta Petrolei Acta, 1986, 7(2): 13-19. [邬立言, 顾信章. 热解技术在我国生油岩研究中的应用[J]. 石油学报, 1986, 7(2): 13-19.]
- [22] Cheng Keming, Wang Tieguan, Zhong Ningning, *et al.* Geochemistry of Hydrocarbon Source Rocks[M]. Beijing: Science Press, 1995: 58-62. [程克明, 王铁冠, 钟宁宁, 等. 烃源岩地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 58-62.]
- [23] Lerche I, Yarzab R F, Kendall C G. St. C. Determination of paleoheat flux from vitrinite reflectance data[J]. AAPG Bulletin, 1984, 68: 1704-1717.

Geochemical Characteristics and Hydrocarbon Generation Potentials of Chang 10 Source Rock in Wuqi-Zhidan Area, Ordos Basin

WANG Xiang-zeng¹, HE Yong-hong², ZHANG Li-kuan³, FU Ming-yi²

1. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd., Xi'an 710075, China;

2. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd., Xi'an 710075, China;

3. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: There is a set of dark lacustrine mudstones in the upper part of Chang 10 beds in Wuqi-Zhidan area, Ordos Basin. Evaluation of the geological and geochemical characteristics and hydrocarbon generation potential of this set of source rocks is very important for the oil/gas exploration in Wuqi-Zhidan area. The authors studied the distribution of Chang 10 bed dark mudstones through core and well log data and evaluated the hydrocarbon generation potential of Chang 10 source rock based on the analyses of rock pyrolysis, micro-composition of kerogen, vitrinite reflectance, group composition of solvable organic matter, GC-MS of saturated hydrocarbon, and so on. The study illustrates that the dark mudstones of Chang 10 bed spread widely and its thickness vary from 5m to 20m. Organic matter abundance and hydrocarbon generation conversion of source rock are high. The terrigenous plants which mainly attribute to type II and type III kerogen contribute enormously in source organic matter. Organic matter reached mature oil generation stage. In conclusion, they were determined to be relatively good-good source rocks. The biomarker compound of Chang 10 source rock bed has high Pr/Ph ratio, opposite "L" type distribution of $\alpha\alpha\alpha 20R$ configuration C_{27} , C_{28} and C_{29} regular steranes, which differs distinctly from source rocks of Chang 7 and Chang 9 beds. The source rock of Chang 10 bed, whose hydrocarbon generation quantity is large, is another important efficient source rock of Mesozoic Group in Ordos Basin and its discovery provides scientific evidence for further exploration of the bottom layer of Yanchang Formation in midland of Ordos Basin.

Key words: Source rock of Chang 10 bed; Geochemistry; Hydrocarbon generation potential; Ordos Basin