

鄂尔多斯盆地南部延长组 油页岩地球化学特征及分布规律

邓南涛^{1,2}, 张枝焕¹, 任来义², 王付斌³, 梁全胜²,
李宇翔³, 李文浩¹, 赵双丰¹, 罗梦姣¹

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 西安 710075; 3. 中国石油化工股份有限公司 华北分公司, 郑州 450006)

摘要:基于对鄂尔多斯盆地南部(镇泾—彬长—旬宜—富县地区)延长组不同层段暗色泥岩、碳质泥岩及油页岩样品的地球化学和测井资料的对比分析,研究了油页岩的识别标志及其分布规律。结果表明,不同岩性样品的生物标志物、生烃潜力及测井电性特征差异明显,油页岩具有典型的地球化学和地球物理综合识别标志,分布受沉积环境的控制作用显著,靠近湖盆中央的深湖—半深湖相带是油页岩的主要发育区。

关键词:地球化学特征;油页岩;分布规律;延长组;鄂尔多斯盆地南部

中图分类号:TE122.1⁺13

文献标识码:A

Geochemical characteristics and distribution rules of oil shale from Yanchang Formation, Southern Ordos Basin

Deng Nantao^{1,2}, Zhang Zhihuan¹, Ren Laiyi², Wang Fubin³, Liang Quansheng²,
Li Yuxiang³, Li Wenhao¹, Zhao Shuangfeng¹, Luo Mengjiao¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China; 2. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 3. SINOPEC North China Company, Zhengzhou, Henan 450006, China)

Abstract: Based on the geochemical features and logging data of dark mudstone, carbonate mudstone and oil shale samples from different layers of the Yanchang Formation in the southern Ordos Basin (including Zhengjing, Binchang, Xunyi and Fuxian areas), the identification markers and distribution characteristics of oil shale have been investigated. The result shows that there are significant differences in biomarker characteristics, hydrocarbon generation potential and logging electrical characteristics. Oil shale has typical geochemical and geophysical composite identification marks. The distribution of oil shale is significantly controlled by sedimentary environment. Deep or semi-deep lacustrine facies which is near to the center of lake basin is the main development zone for oil shale.

Key words: geochemical characteristics; oil shale; distribution rule; Yanchang Formation; southern Ordos Basin

油页岩作为一种潜力巨大的非常规油气资源,越来越受到人们的重视^[1-5]。鄂尔多斯盆地是我国油页岩资源最丰富的盆地之一,其南部三叠系延长组长,油层组是盆地内油页岩的主要产层,占盆地油页岩资源总量的90%以上^[6-7];同时长,油页岩又是延长组的主力烃源岩,它的分布和质量对全

盆地常规油气藏的富集及分布具有重要的控制作用^[8]。前人对鄂尔多斯盆地南部油页岩的分布规律缺乏研究^[9-10]。本文系统采集了盆地南部延长组不同层段暗色泥岩、碳质泥岩及油页岩样品,进行了相关地球化学实验分析,同时结合不同类型岩样测井响应特征,建立了油页岩的地球化学和地球

收稿日期:2013-01-28;修订日期:2013-05-20。

作者简介:邓南涛(1983—),男,博士,从事油气成因机理与分布预测相关研究。E-mail: dengnt2009@vip.qq.com。

基金项目:国家重大专项基金“鄂南低渗油藏成藏模式与勘探目标评价”(2011ZX05002-001-003)和中国石化专项基金“鄂南中生界生烃条件及油源对比研究”(G13KJ-11-ZS-QT-ZJ-0005)资助。

物理综合识别标志,揭示了长₇油页岩的空间分布规律,以期为该区油气资源的深入勘探提供地质依据。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地是一个沉积稳定、拗陷迁移、扭动明显的多旋回克拉通叠加盆地,盆地内部构造相对简单,地层平缓,自中生代以来,长期稳定发展,后期构造变动微弱。上三叠统延长组的沉积经历了湖盆由发生、发展至消亡的整个阶段,沉积了一套完整的进积—垂向加积—退积的沉积序列组成的砂泥岩地层。延长组河流—湖泊相陆源碎屑岩层系自下而上包括第一段(长₁₀油组)、第二段(长₉、长₈油组)、第三段(长₇、长₆、长₄₊₅油组)、第四段(长₃、长₂油组)、第五段(长₁油组)等5个岩性段、10个油层组^[11-12]。

长₁₀—长₇油层组沉积期为湖进期,表现为纵向上的正旋回沉积和平面上各期岸线逐步向外扩张的特征,其中在长₇沉积期,湖盆进入全盛时期,面积最大,几乎覆盖了整个盆地,湖水深度较大,南部达30~50 m,形成浅湖—半深湖相的大型生油拗陷,由于此时湖盆沉积环境稳定,有利于有机质的保存,因而形成了大型的油页岩矿床,具有分布面积广、厚度大、含油率稳定的特点^[5]。长₆—长₁油层组沉积期,地壳逐渐抬升,湖盆逐渐变小并最终消亡。

2 样品与实验

烃源岩样品采自鄂尔多斯盆地南部镇泾、彬

长、旬宜、富县4个勘探区块的延长组不同层段,岩性包括油页岩、暗色泥岩和碳质泥岩。每个区块尽量根据构造、油藏分布特征及泥岩分布特征进行取样,尽量做到样品对区块平面和纵向趋势的控制,选取代表井,对重点层位密集取样,兼顾其他层位(图1,表1)。

样品分析工作在中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室和油气资源与探测国家重点实验室完成。主要开展了烃源岩样品的热解分析、有机碳和显微组分的测定,选择部分具代表性的样品进行氯仿沥青“A”萃取和族组分分离,并对饱和烃馏分进行气相色谱—质谱分析。气相色谱—质谱分析采用Finnigan公司DSQ型GC-MS分析系统,色谱—质谱分析条件为:载气为99.999 9%的氦气,进样口温度为300℃,传输线温度为300℃,色谱柱为HP-5MS弹性石英毛细柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm),升温程序为初温50℃(恒温1 min),20℃开始以20℃/min升温至120℃,以4℃/min升温至250℃,再以3℃/min升温至310℃,保持30 min,载气流速为1 mL/min,采用EI(70 eV)电子轰击方式,灯丝电流为100 μA,倍增器电压为1 200 eV,全扫描。

表1 鄂尔多斯盆地南部不同类型烃源岩样品分布

Table 1 Sample distribution of different source rocks in southern Ordos Basin						块
岩性	长 ₄₊₅	长 ₆	长 ₇	长 ₈	长 ₉	
油页岩			27			
暗色泥岩	4	7	17	5	6	
碳质泥岩	1		5	3	2	

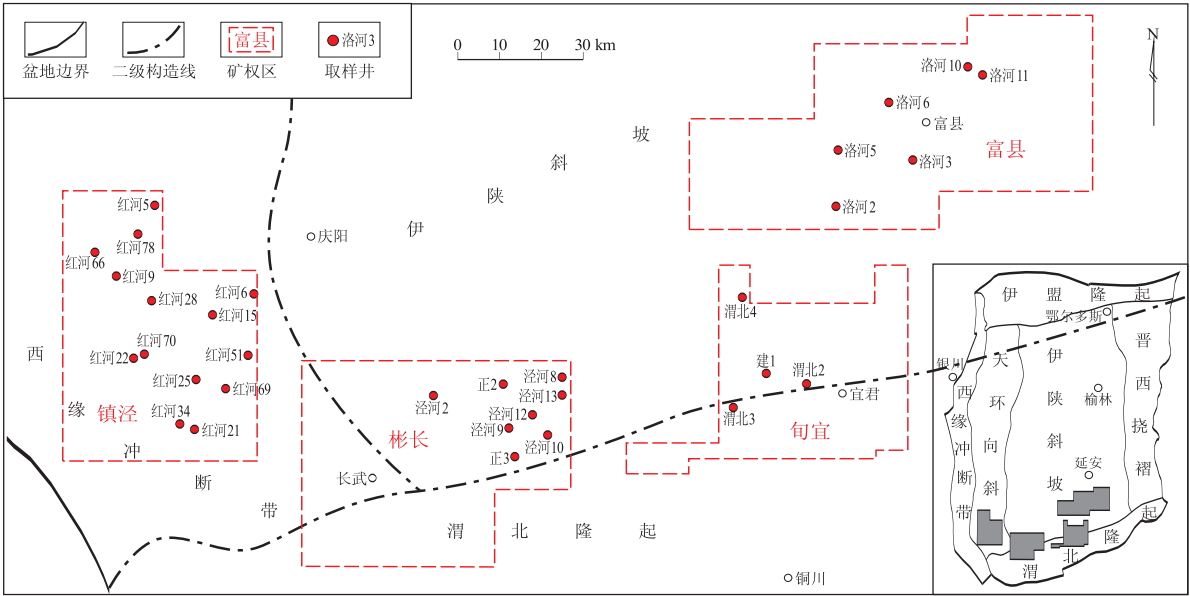


图1 鄂尔多斯盆地南部研究区地理位置及取样井分布

Fig. 1 Geographic location and well distribution in study area, southern Ordos Basin

3 长₇油页岩地球化学特征

3.1 生油潜力及品质评价

野外露头 and 岩心观察表明,该区油页岩十分发育,厚度可达 13 ~ 30 m,垂向上连续分布,中间夹有浊流沉积成因的薄层砂岩,有机质丰度非常高;长₇油页岩常为灰黑色、黑色,也有少量黄褐色油页岩,其中含介形虫、方鳞鱼等动物化石,少量植物碎片化石^[13]。岩石薄片、光学显微镜、扫描电镜观察显示,长₇油页岩富含莓状黄铁矿及胶磷矿,陆源碎屑和粘土矿物的相对含量较低^[14]。以上特征表明油页岩中有机质丰富,形成时水体环境较为安静,具有半深湖—深湖亚相的沉积特征。

油页岩镜质体反射率 R_o 值为 0.53% ~ 0.76% (表 2),处于低成熟阶段;其他岩性样品 R_o 为 0.59% ~ 1.02%,基本都处于低—成熟阶段。不同岩性样品生油潜力差异较为明显,其中油页岩 TOC 值为 3.7% ~ 22.5%;生烃潜量(S_1+S_2)值为 23.1 ~ 120.1 mg/g,有机质类型最好,以 I 型为主,部分为 II₁ 型,生油潜力最大;暗色泥岩 TOC 值为 0.6% ~ 5.9%, S_1+S_2 为 0.4 ~ 32.9 mg/g,有机质类型以 II₁ 和 II₂ 型为主,生油潜力中等;碳质泥岩 TOC 值为 6.3% ~ 10.1%, S_1+S_2 为 0.4 ~ 4.5 mg/g,有机质类型以 III 型为主,生油潜力较差(表 2,图 2)。

含油率是油页岩矿工业评价的关键参数,它与烃源岩评价常用参数中的生烃潜量、有机碳、氯仿沥青“A”的含量具有较好的相关性,可以据此建立相关含油率计算公式对油页岩品质进行评价^[15]。一般认为含油率为 3.5 % 是区分油页岩矿和非矿的界限,当含油率分别为 3.5 % ,5 % ,10 % 时,代表油页岩品质分别为低等、中等、优质^[17],计算可知研究区油页岩含油率介于 3.9 % ~ 10.3 % 之间,表明研究区油页岩多达到中等或优质油页岩矿品级,具有较高的开采价值。

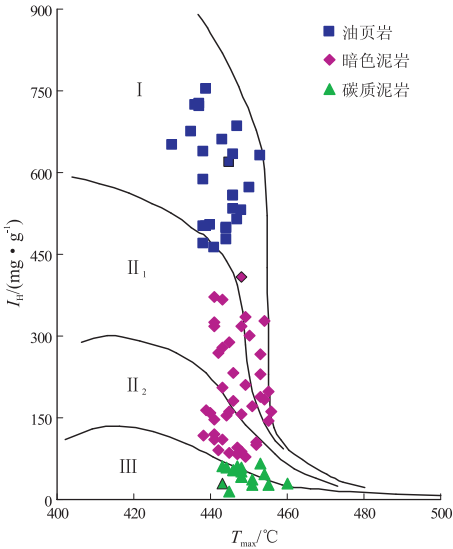


图 2 鄂尔多斯盆地南部延长组不同岩性烃源岩有机质类型

Fig. 2 Organic matter types of different lithologic source rocks from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

3.2 生物标志物组成特征与形成环境

从图 3a 可以看出油页岩生物标志物一般具有如下特征:正构烷烃碳数分布呈单峰态前峰型,Pr/Ph 值介于 0.79 ~ 1.29 之间,平均值为 1.06,表明该类烃源岩形成于强还原—弱氧化的环境中;含有 β 胡萝卜素; $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷相对含量主要呈“V”形或“L”形分布,表明其生源输入中藻类等水生生物的贡献较大,重排甾烷/规则甾烷分布在 0.05 ~ 0.14 之间;五环三萜烷烃类化合物中 C_{30} 藿烷丰度最高, C_{30} 重排藿烷含量很低, C_{29} 降藿烷含量中等—较高; $8\beta(H)$ -补身烷含量高,且高于 $8\alpha(H)$ -补身烷含量, $8\beta(H)$ -补身烷/ $8\beta(H)$ -补身烷值小于 2 且介于 1.09 ~ 1.95 之间,平均值为 1.63; T_s 含量低于 T_m 或略高于 T_m ,伽马蜡烷含量较低; C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值介于 0.07 ~ 0.29 之间, C_{30} 重排藿烷/ C_{29} 降藿烷值介于 0.13 ~ 0.82 之间, C_{30} 重排藿烷/ $C_{29} T_s$ 介于

表 2 鄂尔多斯盆地南部延长组不同岩性烃源岩生油潜力对比

Table 2 Comparison of hydrocarbon generation potential of different lithologic source rocks from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

类型	$w(\text{TOC})/\%$	$(S_1+S_2)/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$I_H/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	氯仿沥青“A”/%	$R_o/\%$
油页岩	3.7 ~ 22.5	23.1 ~ 120.1	356 ~ 752	0.19 ~ 1.28	0.53 ~ 0.76
	11.9(27)	66.1(27)	568(27)	0.88(7)	0.62(7)
暗色泥岩	0.6 ~ 5.9	0.4 ~ 32.9	39 ~ 531	0.01 ~ 0.69	0.59 ~ 1.02
	1.83(39)	9.93(39)	250(39)	0.33(24)	0.82(24)
碳质泥岩	6.3 ~ 10.1	0.4 ~ 4.5	39 ~ 110	0.04 ~ 0.13	0.71 ~ 0.92
	8.1(11)	1.7(11)	89(11)	0.04(9)	0.87(7)

注:表中分式意义为最小值~最大值/平均值(样品数)。

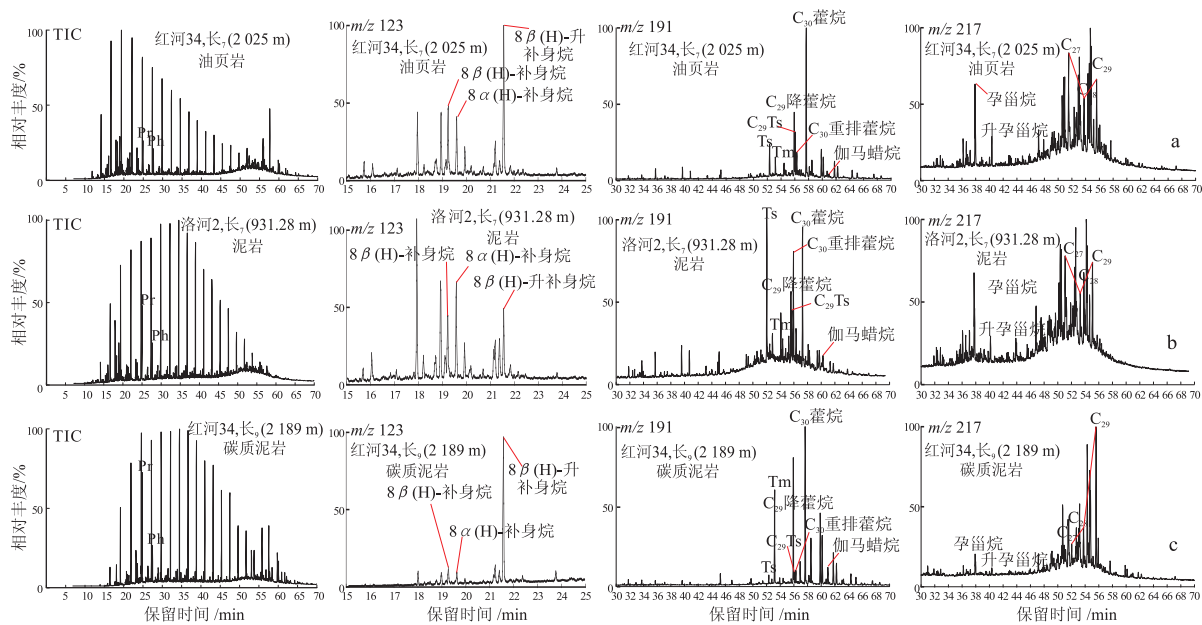


图3 鄂尔多斯盆地南部延长组不同岩性烃源岩饱和烃生物标志物质量色谱

Fig.3 Mass chromatograms of saturated hydrocarbon biomarkers of different lithologic source rocks from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

表3 鄂尔多斯盆地延长组不同岩性源岩生标参数及沉积环境

Table 3 Geochemical characteristics and sedimentary environment of different lithologic source rocks from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

源岩类型	Pr/Ph	C ₃₀ 重排 藿烷/ C ₃₀ 藿烷	Ts/(Ts+Tm)	伽马蜡烷/ C ₃₀ 藿烷	ααα20RC ₂₇ / C ₂₉	8β(H)-升补 身烷/8β(H)- 补身烷	沉积环境
油页岩	1.06	0.15	0.59	0.066	1.25	1.54	深湖相、还原的淡水环境
暗色泥岩	1.18	0.76	0.70	0.172	1.03	3.29	深湖—半深湖相、还原—弱还原的淡水—微咸水环境
碳质泥岩	2.78	0.16	0.21	0.091	0.91	8.78	三角洲前缘相、氧化的淡水—微咸水环境

0.51 ~ 0.82 之间。成熟度参数 C_{31} 升藿烷 $22S/(22S+22R)$ 值介于 0.54 ~ 0.58 之间, C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 值介于 0.42 ~ 0.47, C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值介于 0.45 ~ 0.59 之间,表明烃源岩处于低熟—成熟阶段。

图 3b、c 给出了延长组暗色泥岩和碳质泥岩的生物标志物的分布特征,从中可以看出油页岩、暗色泥岩、碳质泥岩的生物标志物特征差异较为明显。从反映形成环境的主要生物标志物参数(表 3)可以更直观地看出它们的差别,即油页岩主要为深湖相沉积,形成于还原的淡水环境下,有机质母源以水生低等生物为主;暗色泥岩主要为深湖—半深湖沉积,形成于还原—弱还原的淡水—微咸水环境下,有机质母源以水生低等生物为主,有少量陆源高等植物的输入;碳质泥岩主要为三角洲前缘相沉积,形成于氧化的淡水—微咸水环境下,有机

质母源中高等植物贡献较大。

4 长 7 油页岩识别标志及分布规律

油页岩有其独有的特征:1) 由于沉积环境和生源的差别,不同岩性样品的生物标志物特征存在一定的差别,因此可以依据与之相关的生物标志物参数区分不同类型的岩性样品。2) 不同类型岩样的生油潜力存在差别,对应的常规地球化学评价参数 $w(\text{TOC})$ 、 S_1+S_2 、 I_H 、 $(S_1+S_2)/\text{TOC}$ 存在明显的区分度。3) 油页岩含有丰富的有机质,可以吸附地层中的铀,铀含量与有机质含量有一定的正相关关系,因此其放射性较高,自然伽马测井值比一般非烃源岩的高;富含有机质的泥岩层,由于导电性较差的干酪根和油气的出现,其电阻率总是比不含有机质的同样岩性的地层电阻率高;由于有机质的密度较小而粘土质矿物的骨架密度相对较大,因此

当泥岩取代岩石骨架时就会使地层密度减小;地层中含有机质或油气时由于干酪根(或油气)的声波时差大于岩石骨架声波时差,就会造成地层声波时差增加,这些油页岩的物理性质是建立油页岩测井识别标志的理论基础^[16-19]。

因此,根据以上 3 点建立了鄂尔多斯盆地南部延长组长₇油页岩的生物标志物参数—常规地球化学评价参数—测井电性参数综合识别标志(表 4,图 4)。

通过建立的油页岩测井识别标志,可以利用鄂尔多斯盆地大量的石油钻孔测井资料进行油页岩的识别和解释评价,以此开展油页岩的空间分布的相关统计和分析。

彬长、旬宜地区长₇油层组油页岩钻遇率较高,全井段皆发育油页岩,旬宜地区中上部油页岩

平均厚度 5.6 m,下部平均厚度 10.8 m,彬长地区中上部油页岩平均厚度 2.5 m,下部平均厚度 10.6 m。镇泾地区油页岩主要分布在长₇油层组底部,油页岩平均厚度 3.9 m。富县地区油页岩钻遇率很低,油页岩不太发育,长₇油页岩平均厚度只有 2.6 m,说明这个区块沉积环境变化较大,仅局部存在较好的油页岩。

从平面上来看(图 5),鄂尔多斯南部长₇油页岩厚度范围为 10~40 m,其分布受沉积环境的控制,深湖相沉积环境形成的油页岩具有厚度大、品质好的特点;浅湖和三角洲相沉积环境形成的油页岩分布范围较广,但厚度较小,品质相对较差。彬长地区、旬宜地区北部及富县地区西南部油页岩相对发育,厚度较大(约 30 m),品质较好。

5 结论

1) 由于沉积环境和生源输入的差异,造成鄂尔多斯盆地南部地区延长组不同岩性样品(油页岩、暗色泥岩、碳质泥岩)的生烃潜力、生物标志物特征及地球物理特征存在较大差异,为有效识别油页岩提供了依据。

2) 鄂尔多斯盆地南部地区长₇油页岩具典型生物标志物—常规地化—测井电性特征三方面的识别标志,即 $Pr/Ph<2, 8\beta(H)-升补身烷/8\beta(H)-补身烷<2, 8\beta(H)-补身烷/8\alpha(H)-补身烷>1, w(TOC)>3.5\%, (S_1+S_2)>20\text{ mg/g}, I_H>450\text{ mg/g}, GR>170\text{ API}, AC>280\text{ }\mu\text{s/m}, RT>30\text{ }\Omega\cdot\text{m}, CNL>27\%$ 。

3) 鄂尔多斯盆地南部地区延长组油页岩厚度范围为 10~40 m,彬长、旬宜地区油页岩品质较

表 4 鄂尔多斯盆地南部延长组长₇油页岩识别标志
Table 4 Identification mark of Chang₇ oil shale from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

类型	识别参数	参数值分布
生物标志物	Pr/Ph	<2
	$8\beta(H)-升补身烷/8\beta(H)-补身烷$	<2
	$8\beta(H)-补身烷/8\alpha(H)-补身烷$	>1
常规地化	$w(TOC)/\%$	>3.5
	$(S_1+S_2)/(mg\cdot g^{-1})$	>20
	$I_H/(mg\cdot g^{-1})$	>450
	$(S_1+S_2)/TOC/(mg\cdot g^{-1})$	>500
测井电性	GR/API	>170
	$AC/(\mu s\cdot m^{-1})$	>280
	$RT/(\Omega\cdot m)$	>30
	$CNL/\%$	>27

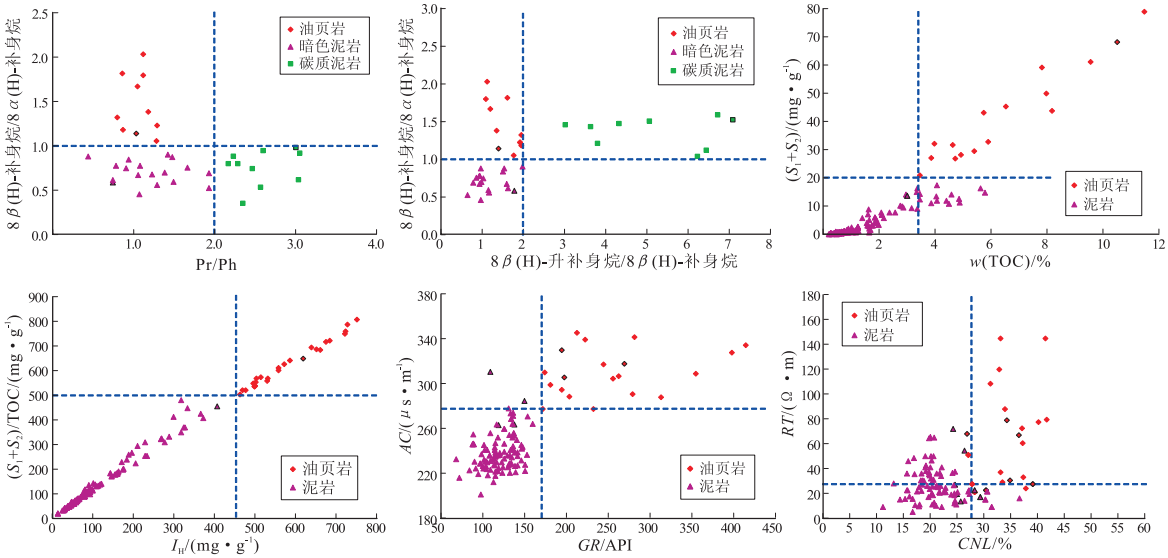


图 4 鄂尔多斯盆地南部延长组不同岩性烃源岩典型参数相关图

Fig. 4 Correlation of typical parameters of different lithologic source rocks from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

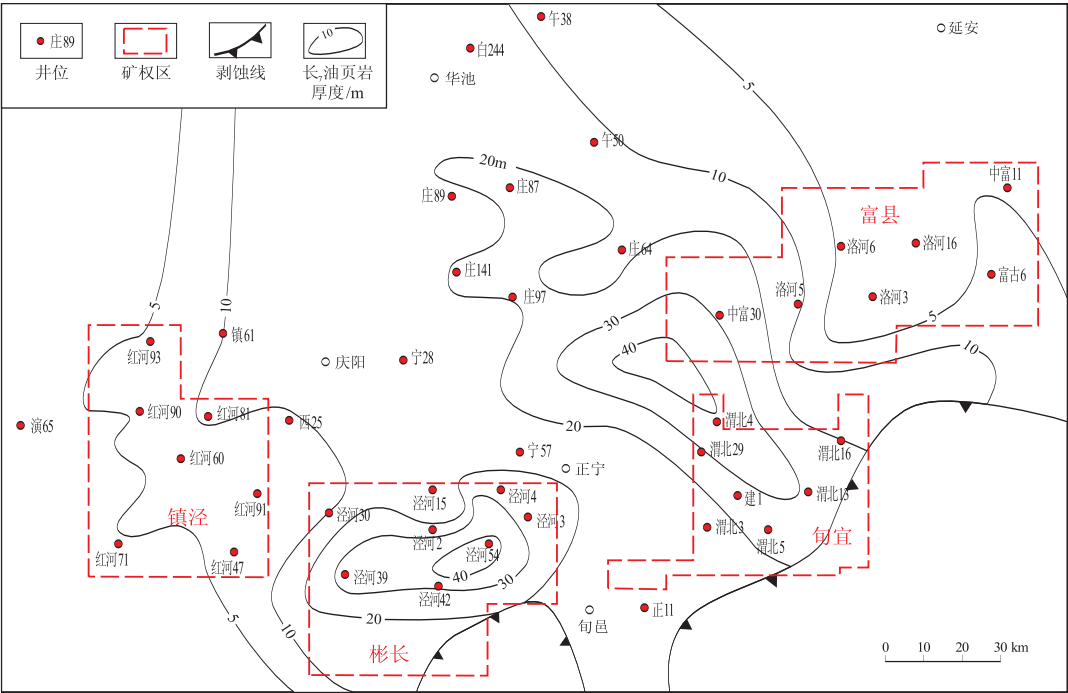


图5 鄂尔多斯盆地南部延长组长7油页岩厚度平面分布

Fig.5 Plane distribution of thickness of Chang7 oil shale from Yanchang Formation in southern Ordos Basin

好,在全井段皆发育油页岩,油页岩单井平均厚度约15 m;镇泾地区次之,在长₇油层组底部发育油页岩,油页岩平均厚度3.9 m;富县地区最差,仅在西南部局部发育有较好的油页岩,油页岩平均厚度2.6 m。

参考文献:

[1] 柳蓉,刘招君. 国内外油页岩资源现状及综合开发潜力分析[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):892-898.

[2] 刘招君,柳蓉. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地质前缘,2005,12(3):315-323.

[3] Brendow K. Global oil shale issues and perspectives[J]. Oil Shale, 2003,20(1):81-92.

[4] Dynij R. Geology and resources of some world oil-shale deposits[J]. Oil Shale,2003,20(3):193-252.

[5] 昌燕,刘人和,拜文华,等. 鄂尔多斯盆地南部三叠系油页岩地质特征及富集规律[J]. 中国石油勘探,2012(2):74-78.

[6] 刘招君,董清水,叶松青,等. 中国油页岩资源现状[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):869-876.

[7] 卢进才,李宇宏,魏仙祥,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7油层组油页岩沉积环境及资源潜力研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):928-932.

[8] 白玉彬,赵靖舟,方朝强. 优质烃源岩对鄂尔多斯盆地延长组石油聚集的控制作用[J]. 西安石油大学学报,2012,36(2):1-5.

[9] 王永东,颜其彬. 鄂尔多斯盆地南部张家滩油页岩资源应用前景[J]. 西北大学学报:自然科学版,2012,42(3):453-458.

[10] 陈治军,高怡文,袁芳政,等. 鄂尔多斯盆地南部延长组油页岩特征及页岩气有利区预测[J]. 石油地质与工程,2012,26(4):15-22.

[11] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2003:80-105.

[12] 武富礼,李文厚,李玉宏,等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地学报,2004,6(3):307-315.

[13] 邱欣卫. 鄂尔多斯盆地延长期富烃凹陷特征及其形成的动力学环境[D]. 西安:西北大学,2011.

[14] 张文正,杨华,杨奕华,等. 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.

[15] 柳少鹏,周世新,王保忠,等. 烃源岩评价参数与油页岩品质指标内在关系探讨[J]. 天然气地球科学,2012,23(3):561-568.

[16] 王贵文,朱振宇,朱广宇. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. 石油勘探与开发,2002,29(4):50-52.

[17] 朱光有,金强,张林晔. 用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J]. 测井技术,2003,27(2):104-109.

[18] 闫建平,蔡进功,赵铭海,等. 运用测井信息研究烃源岩进展及其资源评价意义[J]. 地球物理学进展,2009,24(1):270-279.

[19] 朱振宇,刘洪,李幼铭. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩识别中的应用与分析[J]. 地球物理学进展,2003,18(4):647-649.

(编辑 徐文明)