

烃源岩对致密油分布的控制作用 ——以四川盆地大安寨为例

张斌¹, 胡健^{1,2}, 杨家静³, 王晓梅¹, 都占海⁴

1. 中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871;

3. 中国石油天然气股份有限公司 西南油气田分公司, 成都 610051; 4. 中国石油天然气股份有限公司

伊拉克公司鲁迈拉项目部, 北京 100034

摘要: 为了研究烃源岩在致密油富集中的意义, 本文以有机质含量相对较低、但油气产量较高的四川盆地大安寨为例, 通过地球化学分析和理论计算等手段, 探讨了烃源岩在致密油生成、排驱和运移等方面的作用。岩心系统热解分析表明, 大安寨烃源岩主要集中在中部大—三亚段, 有机质含量较高, 而上下灰岩段中的泥岩夹层有机质含量则偏低。油岩对比证实, 石油主要来自大—三亚段 TOC>1% 的暗色泥岩, 说明石油生成后, 经历了一定程度的运移和聚集过程, 以垂向运移为主, 运移方向既可以向上, 也可以向下。大安寨工业油井均位于 TOC>1.2%、生油强度大于 10 万 t/km² 范围内, 主要油田则主要位于 TOC>1.4%、生油强度大于 20 万 t/km² 范围内。生烃增压既是主要的排烃动力, 也是油气充注的主要动力; 要形成工业性油气聚集, 烃源岩的局部富集非常关键, TOC>1%、连续厚度达到 20 m 的烃源岩, 可为大安寨致密油富集提供充足的油气来源。

关键词: 致密油; 介壳灰岩; 大安寨; 生烃增压; 生烃强度; 四川盆地

中图分类号: P618.13 文章编号: 1007-2802(2015)01-0045-10 doi:10.3969/j.issn.1007-2802.2015.01.005

Controlling Effect of Source Rocks on the Occurrence of Tight Oil ——Taking the Da'anzhai Reservoir of Sichuan Basin as an Example

ZHANG Bin¹, HU Jian^{1,2}, YANG Jia-jing³, WANG Xiao-mei¹, DU Zhan-hai⁴

1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. School of Earth & Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Southwest Oil & Gas Field Company, PetroChina, Chengdu 610051, China;

4. PetroChina International Iraq FZE, PetroChina, Beijing 100034, China

Abstract: In order to study the significance of source rocks on tight oil accumulation, the Da'anzhai interval was taken as an example, which is characterized by high oil production and low organic matters. By means of geochemical analysis and theory calculation, we discussed the effect of source rocks on oil generation, explosion and migration. Systemic Rock-Eval analysis showed that excellent source rocks occurred in the middle of the interval, i.e., the Dayisan Subsection, and oil-rock correlation indicated that oil was mainly derived from the Dayisan dark shale with TOC value higher than 1.0%, rather than the shale occurred in the Dayi Subsection or the Dasan Subsection. Thus, the oil had experienced a series of migration and accumulation processes, mainly in vertical, and the direction could be both upward and downward. Most of the industrial wells were located in the area where the source rock with TOC value was higher than 1.2% and oil generation intensity higher than 10×10⁴ t/km², and the discovered oilfields were distributed in the area where TOC value higher than 1.4% and oil generation intensity higher than 20×10⁴ t/km². The overpressure caused by hydrocarbon generation, is the major force that not only drove oil expelling out of the source rocks, but also charged oil into the tight reservoirs. In order to form industrial oil accumulation, excellent source rocks enriched in local area is especially important. The continuous source rocks with TOC value higher than 1.0% and thickness higher than 20 m can provide enough oil sources for the Da'anzhai tight oil reservoirs.

收稿日期: 2014-08-15 收到, 2014-12-15 改回

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2014CB239001); 中国石油天然气股份公司科技项目(2012E-2601-01)

第一作者简介: 张斌(1978-), 博士, 工程师, 研究方向: 石油地质与地球化学. E-mail: zhangbin01@petrochina.com.cn.

Key words: tight oil; shell limestone; Da'anzhai; pressurization during HC generation; HC generation intensity; Sichuan Basin

“致密油”(tight oil)是指以吸附或游离状态赋存于生油岩中,或与生油岩呈互层、紧邻的致密砂岩、致密碳酸盐岩等储集岩中,未经过大规模长距离运移的石油聚集(贾承造等,2012a;赵政彰和杜金虎,2012)。随着“连续型油气聚集”理论的发展和页岩气水平井分段压裂改造技术的引进,国内外掀起了致密油勘探和研究的热潮(Gautier and Mast, 1995; Schmoker, 1995; Brown, 2000; Schmoker and Klett, 2005; 邹才能等, 2009; 贾承造等, 2012b; 邹才能等, 2012)。目前的研究主要集中在致密储集层孔隙结构与演化、油气资源潜力等方面,而专门针对对烃源岩的研究则相对较少(Jarvie *et al.*, 2007; 孟元林等, 2010; Curtis *et al.*, 2012; 刘贵满等, 2012; Loucks *et al.*, 2012; 白玉彬等, 2013; 冯盛斌等, 2013; 付锁堂等, 2013; 姚泾利等, 2013; Zou *et al.*, 2013)。由于致密油储集层近邻烃源岩,烃源岩的优劣直接决定储集层含油丰度。统计表明,国内外几乎所有致密油勘探成效显著的地区,都发育有良好的烃源岩(张文正等, 2006, 2008; 于雪敏等, 2011; Kuhn *et al.*, 2012; 黄薇等, 2013; 张妮妮等, 2013)。赵政彰和杜金虎(2012)明确提出了致密油评价标准:有机碳含量 $TOC > 3.0\%$ 的为一类烃源岩, $2.0\% < TOC < 3.0\%$ 的为二类烃源岩, $1.0\% < TOC < 2.0\%$ 的为三类烃源岩,而 $TOC < 1.0\%$ 的为非有效烃源岩。匡立春等(2014)对准噶尔盆地芦草沟组烃源岩有效性开展了详细研究,这些成果与传统认识的烃源岩评价

标准有较大差别(陈建平等, 1997)。本文以烃源岩有机质含量相对较低、但油气产量较高的四川盆地大安寨为例,来探讨烃源岩在致密油富集过程中的作用。

1 区域地质概况

四川盆地侏罗系石油主要分布在川中古隆起中斜低缓带,构造相对平缓,现今构造表现为一个向西北倾斜的大斜坡,地层倾角小于 5° (王永标等, 2001; 梁狄刚等, 2011; 倪超等, 2012; 王世谦等, 2012)(图 1)。纵向上,侏罗系自下而上可划分为自流井组、凉高山组、沙溪庙组和遂宁组,自流井组又可分为珍珠冲段、东岳庙段、马鞍山段和大安寨段,各层段的主要岩性如图 2 所示。其中,珍珠冲段、东岳庙段、大安寨段和凉高山组均为生油层和储集层,沙溪庙组以河道砂沉积为主,为储集层,不发育烃源岩。

在四川盆地中北部近 4万 km^2 的范围内,侏罗系有 726 口工业油流井和 224 口低产井,历年累产接近 500 万 t。但不同层系石油产量差异很大,大安寨段是主要的产油层,其油气产量占总产量的 83%(梁狄刚等, 2011)。本文以大安寨段为重点,讨论致密油分布及其与烃源岩的关系。

与 Williston 盆地 Bakken 致密油类似,四川盆地大安寨也具有“三明治”式的源储组合。只不过 Bakken 致密油是上下生、中间储(Kuhn *et al.*,

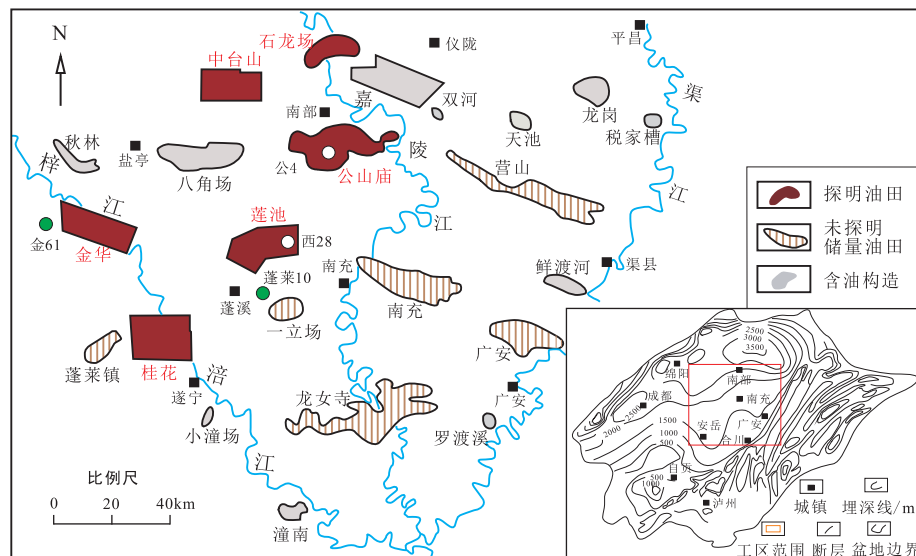


图 1 四川盆地中北部主要油田分布(据梁狄刚等, 2011, 有修改)

Fig.1 Oilfields in the north and central of the Sichuan Basin(modified after Liang Digang *et al.*, 2011)

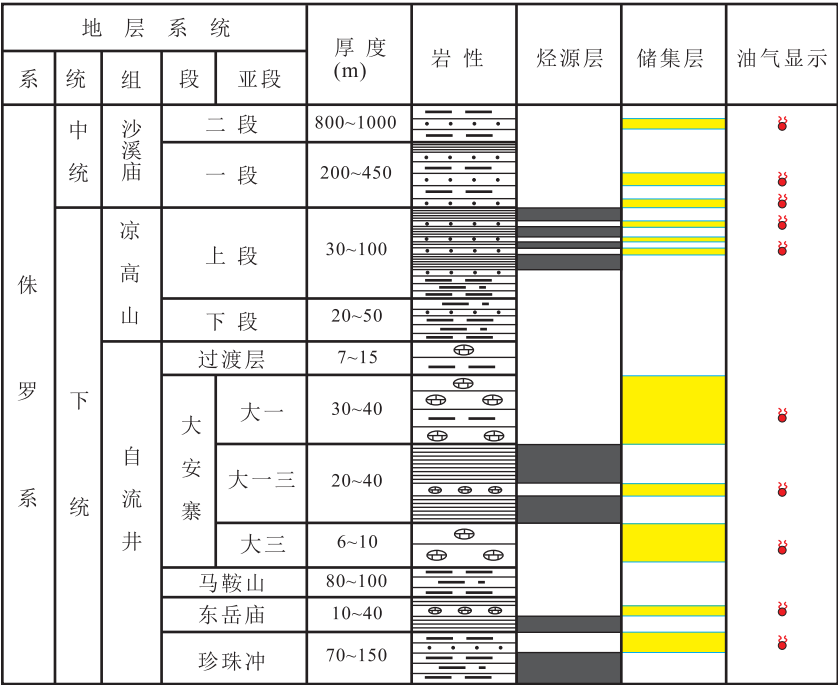


图 2 四川盆地侏罗系地层综合柱状图
Fig.2 Compiled stratigraphic column of the Jurassic formations in the Sichuan Basin

2012),大安寨则是中间生、上下储(图 2)。纵向上,大安寨段自下而上可划分为 3 个亚段,即大三亚段、大一三亚段和大一亚段。其中,大一亚段和大三亚段以介壳灰岩为主,是主要的储集层段,大一三亚段以黑色泥岩为主,夹少量薄层灰岩,是主要的生油层段。

大安寨储集层物性极差,总体属特低孔、特低渗储集体。从公山庙油田岩心样品统计来看,储集层孔隙度一般小于 3%,甚至多数小于 1%;渗透率几乎都在 $1\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 以下,甚至三分之一的样品小于 $0.01\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图 3)。当然,可能受到取样的限制,也有物性较好的样品没有取到,而且在其他地区也见到少数物性较好的储集层(梁狄刚等, 2011)。

2 烃源岩纵向分布

大安寨段储集层岩性主要是黑灰色泥页岩和介壳灰岩。其中,上下 2 段(即大一亚段、大三亚段)以灰岩为主,夹少量泥页岩;中段(大一三亚段)以黑色页岩为主,夹少量灰岩薄夹层。

本文选取了四川盆地侏罗系大安寨 4 口取心较完整的井(钻井位置见图 1),系统开展了岩石热解分析和有机碳测定,结果如图 4 所示。

以位于工区西部的金 61 井为例,其大一亚段厚度达 35 m,以灰岩为主,泥岩夹层累计厚度约

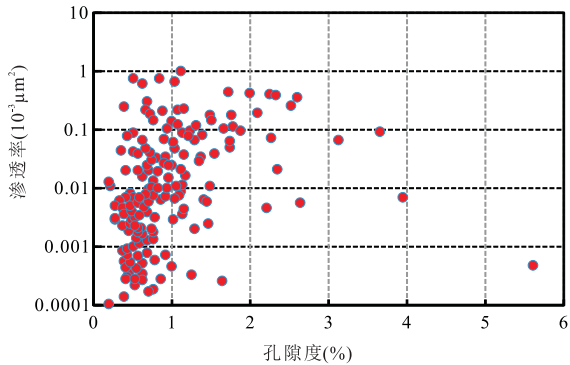
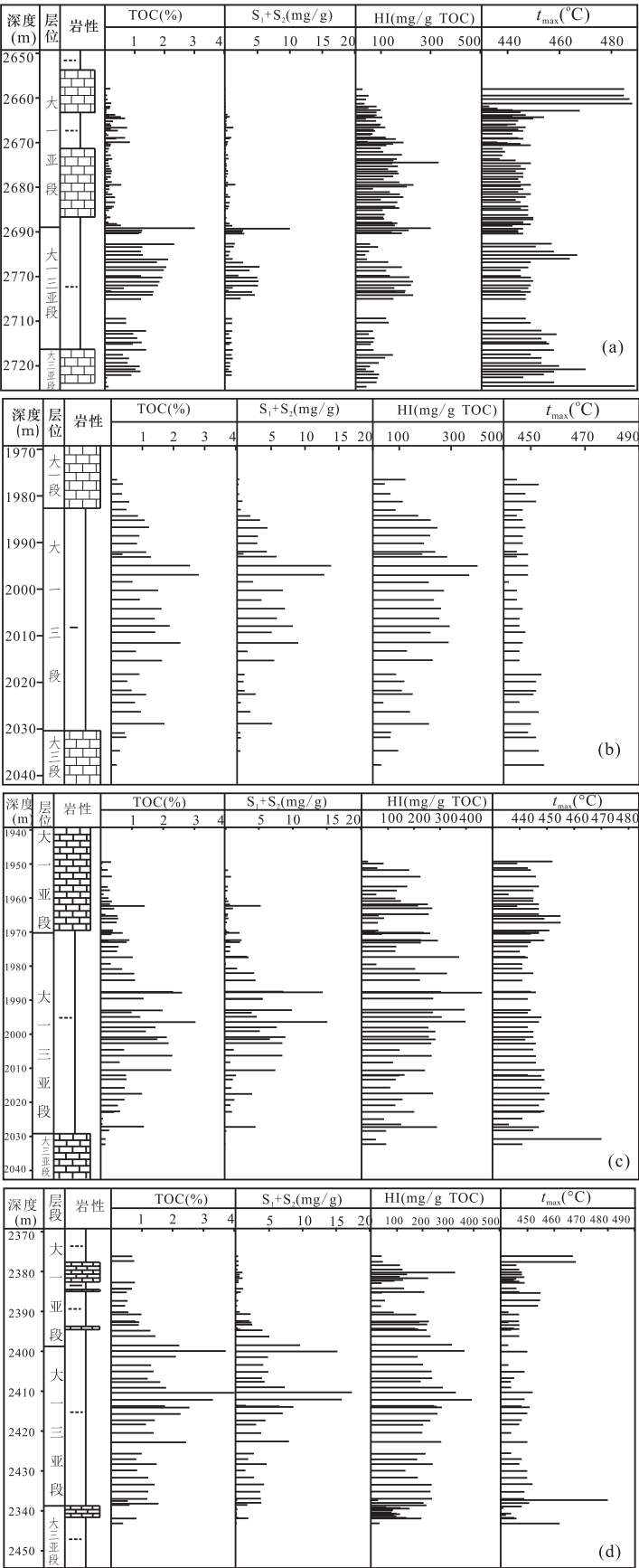


图 3 公山庙油田大安寨段储集层孔隙度和渗透率关系图(据梁狄刚等,2011,有修改)
Fig.3 Porosity vs. permeability of the Da'anzhai reservoir rocks of the Gongshanmiao oilfield (modified after Liang Digang et al., 2011)

10 m,灰岩 TOC 值均小于 0.5%,泥岩 TOC 值在 0.5%~1.0%,但 S_1+S_2 均低于 2 mg 烃/g 岩石;而中部的大一三亚段泥岩,TOC 值多在 1.0%~2.0%,最高可达 3.0%,对应的生烃潜量 S_1+S_2 也在 2 mg 烃/g 岩石以上。其他 3 口井也有类似特征。由此可见,烃源岩主要分布在中部的大一三亚段,而大一亚段和大三亚段灰岩和暗色泥岩有机质丰度较低。

与国内外典型致密油勘探盆地相比,四川盆地侏罗系烃源岩条件相对较差,有机质丰度不仅远低于



(a)金 61 井；(b)蓬萊 10 井；(c)西 28 井；(d)公 4 井

图 4 典型探井大安寨段有机质丰度

Fig.4 Organic matters abundance of the Da'anzhai interval in typical exploration wells

于北美两大致密油勘探层系(Williston 盆地 Bakken 页岩和 Western Gulf 盆地 Eagle Ford 页岩),也低于国内多数致密油层系(表 1)。但四川盆地侏罗系却是中国目前致密油累计产量最高的层系,展现了良好的勘探前景。这难免给人一种困惑,烃源岩究竟在致密油富集过程中有何作用?

表 1 国内外典型致密油勘探盆地烃源岩生烃潜力
Table 1 Hydrocarbon potential of typical tight oil basins

盆地	层段	沉积环境	厚度 (m)	TOC (%)	S ₁ +S ₂ (mg/g)	R _o (%)
Williston	Bakken	海相	<32	3~25	10~100	0.6~1.0
Western Gulf	Eagle Ford	海相	30~50	1~7	3~20	0.9~1.3
松辽盆地	青山口组一段	湖相	40~90	2~8	8~50	0.7~1.2
渤海湾盆地	沙河街组三段	湖相	100~700	0.5~3	3~20	0.5~2.0
鄂尔多斯盆地	延长组 7 段	湖相	20~50	6~30	20~50	0.7~1.2
酒西盆地	白垩系	湖相	500~1600	0.5~4	2~23	0.5~1.3
准噶尔盆地	芦草沟组	湖相	10~35	0.5~14	0.5~150	0.6~1.5
四川盆地	大安寨段	湖相	10~50	0.5~3	2~12	0.9~1.3

3 烃源岩对致密油分布的控制作用

3.1 石油主要来自大—三叠系高有机质丰度烃源岩

通过四川盆地 36 个样品的系统分析发现,各层系原油具有类似的地球化学特征,主要表现在:

(1)全油碳同位素几乎完全一致,主要分布范围是-29.5‰~-31.6‰,平均值为-30.7‰(图 5),与中国典型淡水湖相盆地原油一致,如鄂尔多斯盆地和塔里木盆地三叠系、松辽盆地白垩系以及渤海湾盆地原油,而与典型的煤系原油如四川盆地三叠系须家河组、塔里木盆地库车坳陷侏罗系等明显不同。这说明碳同位素确实能够较好的反映有机质沉积时的古环境,不同地区、不同地层年代相似沉积环境下的生油母质碳同位素是可以对比的。

(2)原油生物标志化合物中,甾烷含量普遍较低,而萜烷含量较高。无论是甾烷类化合物还是萜烷类化合物中,重排系列化合物含量较高,反映了油气的生成主要与黏土矿物催化或者细菌作用有关(Peters *et al.*, 2005)。高含重排藿烷是四川盆地侏罗系原油一个非常典型的特征,除了富含常见的 17 α (H)-重排藿烷和 18 α (H)-新藿烷外,还包含一类不常见的重排藿烷,称之为“早洗脱型重排藿烷”(Farrimond *et al.*, 1996; Nytoft *et al.*, 2006; 朱扬明等, 2007)。张水昌等(1995)、Zhang 等(2011)在研究库车坳陷陆相原油地球化学特征时也曾有过报道,其结构尚不清楚。在 *m/z* 191 色谱质谱图上,这类

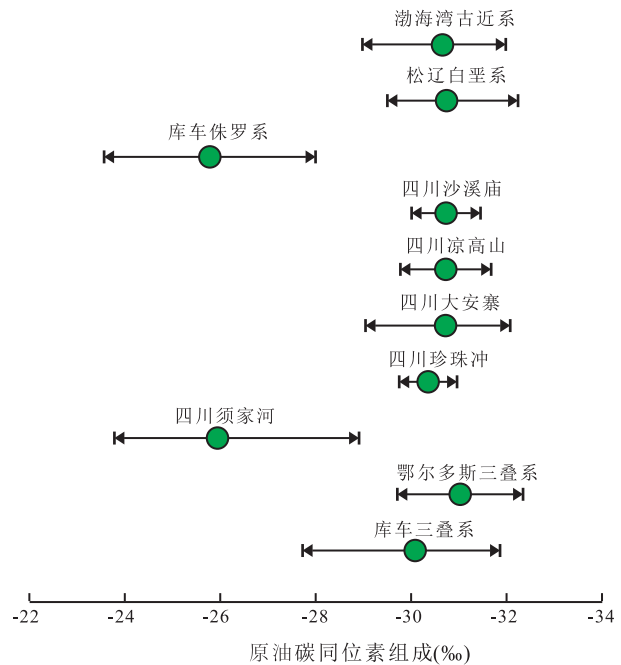


图 5 中国主要陆相湖盆中生代原油碳同位素组成
Fig.5 Carbon isotope value of oils in the major Mesozoic lacustrine basins in China

早洗脱型重排藿烷的出峰时间明显早于其他 C₃₀ 化合物,位于碳数为 27 的 Ts 和 Tm 之间(图 6 中 7 号峰),表明这类化合物可能具有较为特殊的分子结构。

不同地区原油生物标志化合物不尽相同,但有 2 个明显特征,一是 Ts 基本等于或略高于 C₃₀-早洗脱型重排藿烷(即图 6 中 6 号峰略高于 7 号峰),二者的比值一般约等于或大于 1。从 36 个原油样品的生标参数统计来看, Ts/C₃₀-早洗脱型重排藿烷比值在 0.9~1.5,平均值为 1.2。另一个特征是 C₃₀-早洗脱型重排藿烷与 C₃₀-17 α (H)-重排藿烷含量比值相对固定,36 个原油样品,该比值分布范围在 0.45~0.70,平均值为 0.60。将 C₃₀-规则藿烷、C₃₀-17 α (H)-重排藿烷和 C₃₀-早洗脱型重排藿烷三者百分含量作成三角图(图 7),发现 C₃₀-早洗脱型重排藿烷含量与 C₃₀规则藿烷没有关系,而与 C₃₀-17 α (H)-重排藿烷则呈现近于直线。尽管目前尚不清楚 C₃₀-早洗脱型重排藿烷的结构和成因,但这两类重排藿烷应该存在一定的成因联系。

从蓬莱 10 井 33 个岩心样品分析来看,烃源岩碳同位素和生物标志化合物参数均与有机质丰度存在良好的关系(图 8)。位于中部高有机质丰度的烃源岩,无论是碳同位素还是生物标志化合物特征都与原油类似,而上下部分有机质含量偏低的样品,碳同位素和生物标志化合物参数都与原油有较

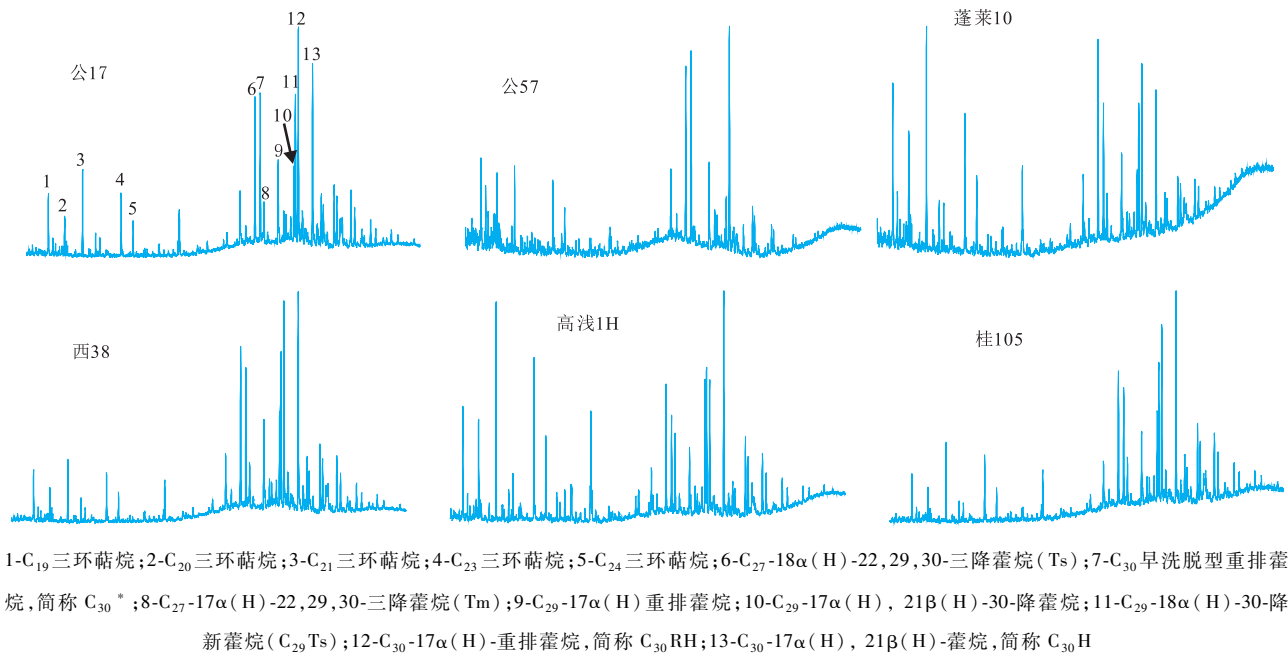
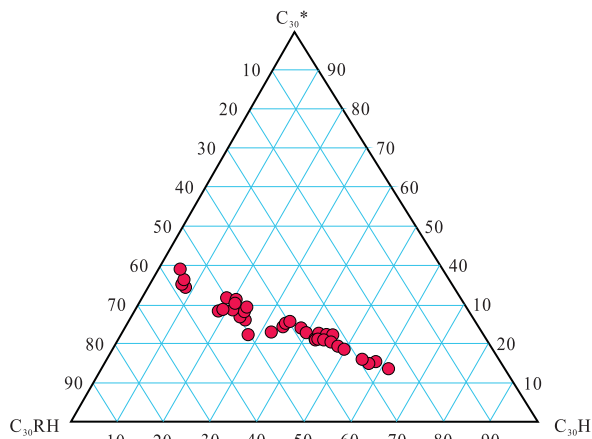
图6 大安寨油田典型原油萜烷类化合物色谱质谱图(m/z 191)Fig.6 Mass chromatograms (m/z 191) showing the distribution of terpanes for the Da'anzhai Oilfield

图7 大安寨油田典型原油规则藿烷与重排藿烷相对百分含量三角图

Fig.7 Percentage of regular hopanes and rearranged hopanes of the Da'anzhai Oilfield

大差异。

3.2 高生油强度区是工业油井主要分布区

一般来说,对于湖相烃源岩,较高的有机质丰度通常意味着烃源岩更有利的沉积环境,其有机质类型也更好,生烃潜力更高,四川盆地侏罗系烃源岩也有类似的特征(图9)。岩心样品热解参数显示,TOC<0.5%的非烃源岩样品多为II₂型和III型,TOC=0.5%~1.0%的样品也多属于II₂型,少数可达II₁型;而TOC>1%的样品则以II₁型和II₂型为主,具有较高的生油潜力,是主要的生油岩。

基于40口井岩心和岩屑样品分析,编制了大安寨烃源岩的TOC平均值等值线图(图10),从中可以看出目前的致密油主要分布在TOC相对较高的地区,绝大多数工业油流井均位于TOC>1.2%范围内,而已经提交探明储量的五大油田均位于TOC>1.4%的范围内(图10)。

同样地,大安寨工业油流井主要位于生油强度大于10万t/km²范围内,而五大油田均位于生烃强度高于20万t/km²范围内,表明生烃条件对油气的富集具有重要的控制作用(图11)。

3.3 高有机质丰度烃源岩可提供更强的排烃和充注动力

油气生成过程中,由于油气比重比干酪根小,因而一定质量的干酪根生成的油气的体积比干酪根大,假定烃源岩处于一个封闭体系内,则必然会在其中产生一个超压,称为生烃增压(Spencer, 1987; Guo *et al.*, 2011)。

生烃增压一方面是油气从生油母质向外排驱的主要动力(Guo *et al.*, 2011);另一方面四川盆地大安寨油层均不含水(梁狄刚等, 2011),且位于大—三亚段烃源岩下方的大三亚段储集层中也富含油气,表明浮力不是油气向储集层充注的主要动力,油气的充注动力同样主要来自生烃增压。显然生烃增压越大,排烃效率越高,油气充注动力越强,越有利于油气的富集。

理论计算表明,TOC为0.5%、原始生烃潜力为

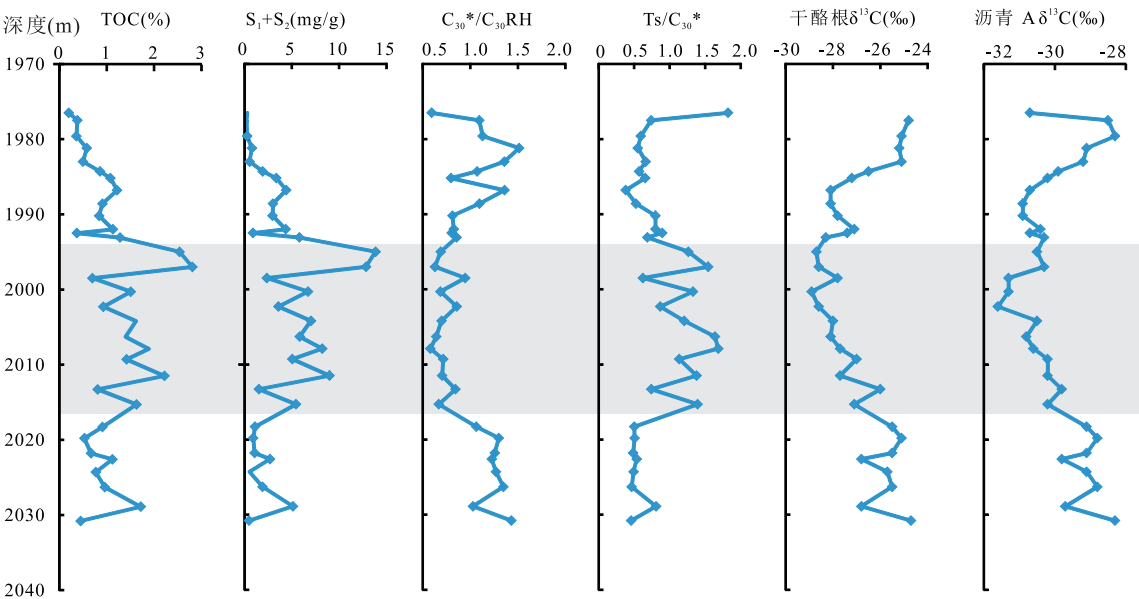
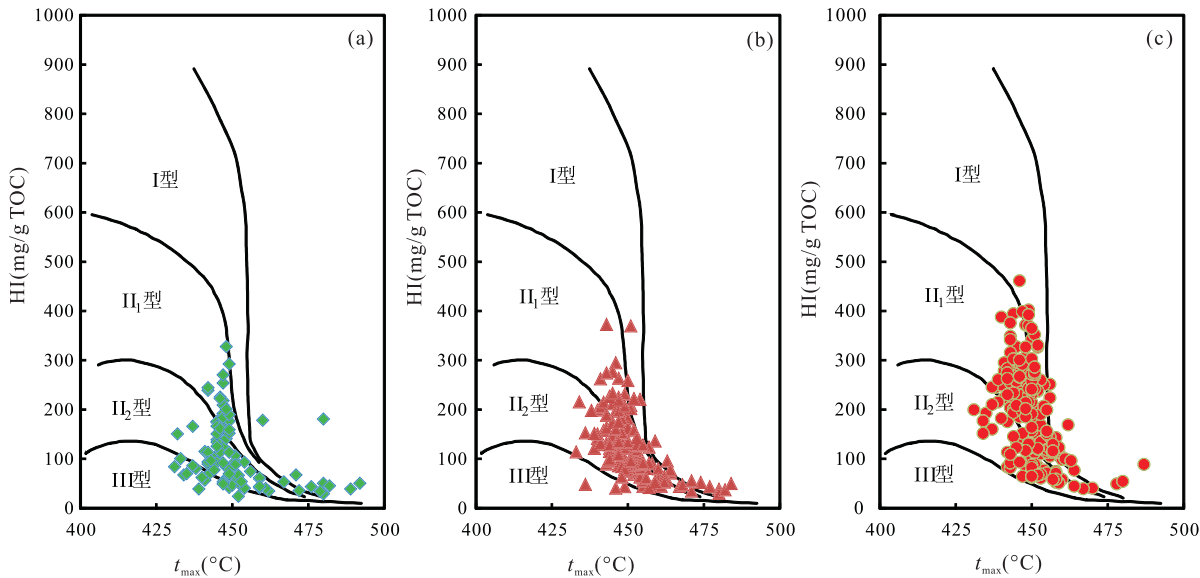


图 8 蓬莱 10 井岩心样品碳同位素和生物标志化合物参数与有机质丰度的关系

Fig.8 Carbon isotope, biomarker indexes and organic matters content of the core samples of Well PL-10



(a) TOC<0.5% ; (b) TOC=0.5%~1.0% ; (c) TOC>1.0%

图 9 大安寨油田岩心样品有机质类型

Fig.9 Organic matters types of core samples in the Da'anzhai Oilfield

300 mg/g TOC 的暗色泥岩,全部转换成油的量为 3.75 kg/m³ 岩石,在没有烃类向外排驱的条件下,烃源岩内所能产生的超压不足 10 MPa;而 TOC = 2%、原始生烃潜力为 600 mg/g TOC 的优质烃源岩,全部转化成油的量为 30 kg/m³ 岩石,所能产生的超压可达 40 MPa 以上;TOC 为 10%、原始生烃潜力为 600 mg/g TOC 的油页岩,全部转换成油的量可达 150 kg/m³ 岩石,所能产生的超压可超过 120 MPa (图 12)。Guo 等(2011)的模拟实验结果

与此基本一致。由此可见,生烃过程所能产生的超压的大小主要与有机质的丰度、原始生烃潜力以及成熟度都是密切相关的。

因此,致密油需要特别注意烃源岩的局部富集程度。传统意义上的“生烃强度”指的是单位面积烃源岩的生烃量,全面反映了烃源岩厚度、有机质丰度、类型、成烃转化率等信息,是烃源岩生烃潜力的综合指标(武守城,1994)。但是,在实际使用过程中可能存在一定的问题,因为这一指标反映的是

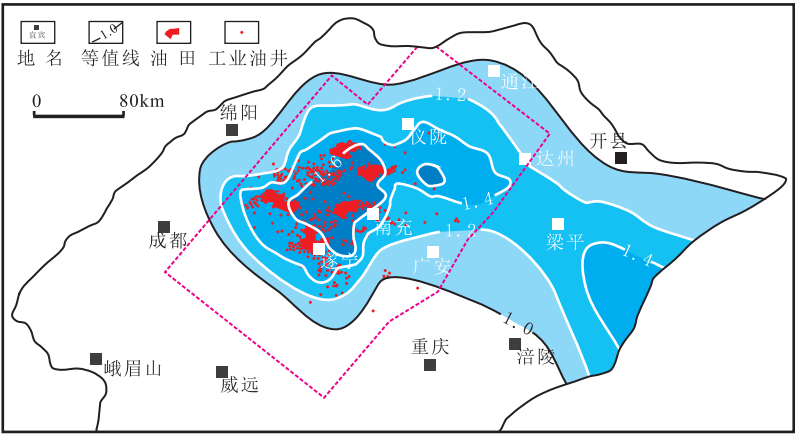


图 10 大安寨段 TOC 等值线与工业油流井的分布

Fig.10 TOC contour line and distribution of industrial oil wells of the Da'anzhai interval

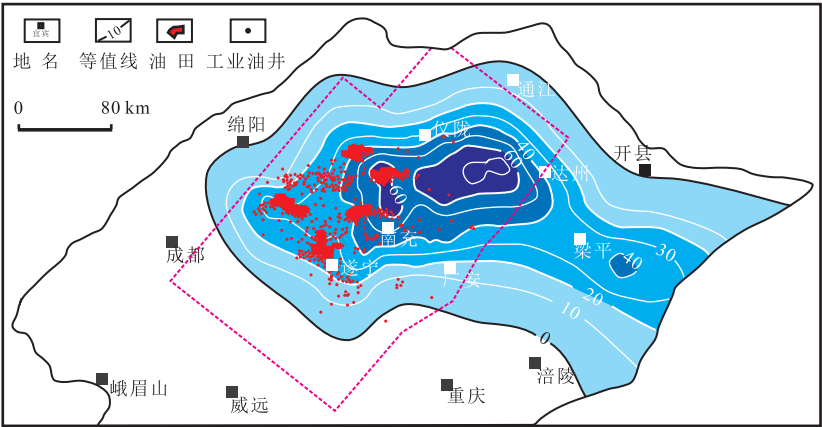


图 11 大安寨段生油强度等值线与工业油流井的分布

Fig.11 Oil generation intensity contour line and distribution of industrial oil wells of the Da'anzhai interval

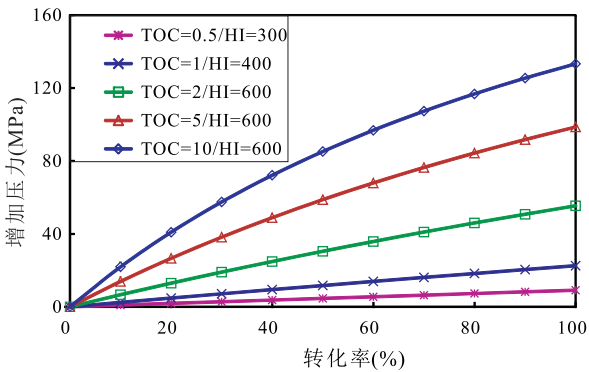


图 12 不同有机质丰度烃源岩生烃过程增加压力理论模型
Fig.12 Theory model of overpressure caused by hydrocarbon generation of different TOC source rocks

一定范围内烃源岩的生烃总量,烃源岩的厚度完全可以弥补有机质丰度的不足。如 Willston 盆地 Bakken 组烃源岩,其生油强度一般在 300 万 t/km² 左右,Eagle Ford 泥岩生油强度不过 200 万 t/km²。

四川盆地龙岗地区 4 套烃源岩累计厚度达到 220 m (梁狄刚等,2011),据此计算生油强度可达 300 万 t/km² 以上,与上述 2 个盆地基本相当,但油气资源丰度和产量显然远低于这两个盆地。渤海湾盆地歧口凹陷由于烃源岩厚度达到 1500~4500 m (于学敏等,2011),据此计算生油强度可达到 4000~10000 万 t/km²,是 Eagle Ford 页岩的 20~50 倍,但实际上渤海湾盆地油气资源丰度并没有这么高。

为了反映烃源岩的局部富集程度,精细刻画烃源岩对致密油的影响,本文主要计算了单位体积烃源岩的生油量,其数值等于烃源岩密度、TOC、原始生油潜量和成油转化率的乘积。以四川盆地大安寨为例,烃源岩密度一般在 2.5 t/m³,原始生烃潜力在 500 kg/t TOC 左右,成油转化率约为 80%,TOC 一般在 1.0%~1.6%,则单位体积烃源岩生油量一般在 10~16 kg/m³。大安寨段介壳灰岩裂缝十分发育,生成的烃类较易排出,源储剩余压差相对较

低,生烃增压驱动下的排烃效率可达30%以上,可供聚集的油气达到 $3\sim 5\text{ kg/m}^3$;源岩连续厚度一般大于20 m,则原油丰度可达 $6\sim 10\text{ 万 t/km}^2$,与致密油储量丰度基本相当。而 $\text{TOC}<1.0\%$ 的泥岩,单位体积泥岩生油量一般小于 10 kg/m^3 ,生油增压驱动下的排油效率不足10%,可供聚集的油气数量非常有限,不足以形成规模油气聚集。

由此可见,对于致密油而言,烃源岩不在于有多厚,而在于有多肥。四川盆地大安寨烃源岩有机质丰度较高($\text{TOC}>1\%$)的暗色泥岩可为致密油聚集提供油源,而较低有机质丰度($\text{TOC}<1\%$)的泥岩则难以提供足够油源。

4 结论

(1)四川盆地侏罗系大安寨段中部大一三亚段以泥岩为主,TOC值一般在 $0.5\%\sim 2.0\%$,为较好烃源岩;而上部的大一亚段和下部的大三亚段以介壳灰岩为主,储集物性差,是致密储集层。

(2)油岩对比证实致密灰岩储集层中的石油来自中部大一三亚段有机质含量较高的泥岩,而非灰岩薄夹层中的泥岩,说明石油生成后,经历了一定程度的运移和聚集过程,以垂向运移为主,运移方向既可以向上,也可以向下。

(3)大安寨工业油井均位于 $\text{TOC}>1.2\%$ 、生油强度大于 10 万 t/km^2 范围内,主要油田则主要位于 $\text{TOC}>1.4\%$ 、生油强度大于 20 万 t/km^2 范围内。

(4)生烃增压既是主要的排烃动力,也是油气充注的主要动力;要形成工业性油气聚集,烃源岩的局部富集非常关键, $\text{TOC}>1\%$ 、连续厚度达到20米的烃源岩,可为大安寨致密油富集提供充足的油气来源。

参考文献 (References):

- Brown A. 2000. Evaluation of possible gas microseepage mechanisms. *AAPG Bulletin*, 84(11): 1775-1789
- Curtis M E, Sondergeld C H, Ambrose R J, Rai C S. Microstructural investigation of gas shales in two and three dimensions using nanometerscale resolution imaging. *AAPG Bulletin*, 2012, 96: 665-677
- Farrimond P, Telnaes N. 1996. There series of rearranged hopanes in Torarcian sediments(northern Italy). *Organic Geochemistry*, 25(3/4): 165-177
- Gautier D L, Mast R F. 1995. US geological survey methodology for the 1995 national assessment. *AAPG Bulletin*, 78(1): 1-10
- Guo X W, He S, Liu K Y, Zheng L J. 2011. Quantitative estimation of overpressure caused by oil generation in petroliferous basins. *Organic Geochemistry*, 42: 1343-1350
- Jarvie D M, Hill R J, Tim T E, Pollastro R M. 2007. Unconventional shale gas systems: The Mississippian Barnett shale of North Central Texas as one model for thermogenic shale gas assessment. *AAPG Bulletin*, 91(4): 475-499
- Kuhn P, Primio R, Hill R, Lawrence J, Horsfield B. 2012. Three-dimensional modeling study of the low-permeability petroleum system of the Bakken Formation. *AAPG Bulletin*, 96(10): 1867-1897
- Loucks R G, Reed R M, Ruppel S C, Hammes U. 2012. Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores. *AAPG Bulletin*, 96: 1071-1098
- Nytoft H P, Lutnas B F, Johansen J E. 2006. 28-Nor-spergulanenes, a novel series of rearranged hopanes. *Organic Geochemistry*, 37(7): 772-786
- Peters K E, Walters C C, Moldowan, J M. 2005. The biomarker guide: Biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history. volume 2. Cambridge University Press, 475-982
- Schmoker J W. 1995. US geological survey assessment concepts for continuous petroleum accumulations. U. S. Geological Survey Digital Data Series DDS-69-D: 1-7
- Schmoker J W, Klett T R. 2005. U. S. Geological Survey assessment concepts for continuous petroleum accumulations; US Geological Survey Digital Data Series DDS-69-D, Chapter 13, CDROM. USGS, Denver, 1-10
- Spencer C W. 1987. Hydrocarbon generation as a mechanism for overpressure in Rock Mountain Region. *AAPG Bulletin*, 71(4): 368-388
- Zhang S C, Zhang B, Zhu G Y, Wang H T, Li Z X. 2011. Geochemical evidence for coal-derived hydrocarbons and their charge history in the Dabai Gas Field, Kuqa Thrust Belt, Tarim Basin, NW China. *Marine and Petroleum Geology*, 28(7): 1364-1375
- Zou C N, Tao S Z, Yang Z, Hou L H, Yuan X J, Zhu R K, Jia J H, Wu S T, Gong Y J, Gao X H, Wang L, Wang J. 2013. Development of petroleum geology in China: Discussion on Continuous Petroleum Accumulation. *Journal of Earth Science*, 24(5): 796-803
- 白玉彬, 赵靖舟, 赵子龙, 殷悦悦, 童姜楠. 2013. 鄂尔多斯盆地志丹地区延长组7致密油成藏条件与成藏特征. *石油与天然气地质*, 34(5): 631-639
- 陈建平, 赵长毅, 何中华. 1997. 煤系有机质生烃潜力评价标准探讨. *石油勘探与开发*, 22(1): 1-5
- 冯胜斌, 牛小兵, 刘飞, 杨孝, 刘小静, 尤源, 王芳. 2013. 鄂尔多斯盆地长7致密油储层储集空间特征及其意义. *中南大学学报(自然科学版)*, 44(11): 4574-4580
- 付锁堂, 张道伟, 薛建勤, 张晓宝. 2013. 柴达木盆地致密油形成的地质条件及勘探潜力分析. *沉积学报*, 31(4): 672-682
- 黄薇, 梁江平, 赵波, 孙国听, 杨庆杰. 2013. 松辽盆地北部白垩系泉头组扶余油层致密油成藏主控因素. *古地质学报*, 15(5): 635-644
- 贾承造, 郑民, 张永峰. 2012a. 中国非常规油气资源与勘探开发前景. *石油勘探与开发*, 39(2): 129-136
- 贾承造, 邹才能, 李建忠, 李登华, 郑民. 2012b. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景. *石油学报*, 33(3): 343-350
- 匡立春, 高岗, 向宝力, 王绪龙, 王成云, 柳广弟. 2014. 吉木萨尔凹陷芦草沟组有效源岩有机碳含量下限分析. *石油实验地质*, 36(2): 224-229
- 梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 何自新, 欧阳健, 廖群山, 何文渊. 2011. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识. *石油学报*, 32(1): 8-17
- 刘贵满, 孟元林, 魏巍. 2012. 松辽盆地北部泉三、四段低渗透储层孔隙度演化史. *矿物岩石地球化学通报*, 31(3): 266-274

孟元林, 王建伟, 吴河勇, 王成, 李亚光, 张安达, 修洪文, 姜文亚, 郭日鑫. 2010. 松辽盆地北部中浅层成岩作用及其对储层质量的影响. 矿物岩石地球化学通报, 29(3): 217-226

倪超, 郝毅, 厚刚福, 谷明峰, 张力涛. 2012. 四川盆地中部侏罗系大安寨段含有机质泥质介壳灰岩储层的认识及其意义. 海相油气地质, 17(2): 45-56

王世谦, 胡素云, 董大忠. 2012. 川东侏罗系——四川盆地亟待重视的一个致密油气新领域. 天然气工业, 32(12): 22-29

王永标, 徐海军. 2001. 四川盆地侏罗纪至早白垩世沉积旋回与构造隆升的关系. 地球科学, 26(3): 241-246

姚泾利, 邓秀芹, 赵彦德, 韩天佑, 楚美娟, 庞锦莲. 2013. 鄂尔多斯盆地延长组致密油特征. 石油勘探与开发, 40(2): 150-158

于雪敏, 何咏梅, 姜文亚, 刘庆新, 梁伯勋, 邹磊落. 2011. 黄骀坳陷歧口凹陷古近系烃源岩主要生烃特点. 天然气地球科学, 22(6): 1001-1008

武守城. 1994. 石油资源地质评价导论. 北京: 石油工业出版社, 1-313

张妮妮, 刘洛夫, 苏天喜, 吴康军, 赵园园. 2013. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段与威利斯顿盆地 Bakken 组致密油形成条件的对比及其意义. 现代地质, 27(5): 1120-1130

张永昌, 邓攀, 彭燕, 徐志明, 李梅, 肖中尧, 阎刚. 1995. 塔里木盆地轮台断隆带中新生代陆相原油成因及其源岩潜力评价. 新疆石油地质, 16(4): 307-311

张文正, 杨华, 李剑锋, 马军. 2006. 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. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293

张文正, 杨华, 杨奕华, 孔庆芬, 吴凯. 2008. 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. 地球化学, 37(1): 59-64

赵政彰, 杜金虎. 2012. 致密油气. 北京: 石油工业出版社, 1-69

朱扬明, 钟荣春, 蔡勋育, 罗毅. 2007. 川中侏罗系原油重排藿烷类化合物的组成及成因探讨. 地球化学, 36(3): 253-260

邹才能, 陶士振, 杨智, 袁选俊, 朱如凯, 侯连华, 贾进华, 王岚, 吴松涛, 白斌, 高晓辉, 杨春. 2012. 中国非常规油气勘探与研究新进展. 矿物岩石地球化学通报, 31(4): 312-322

邹才能, 陶士振, 袁选俊, 朱如凯, 董大忠, 李伟, 王岚, 高晓辉, 公言杰, 贾进华, 侯连华, 张光亚, 李建忠, 徐春春, 杨华. 2009. “连续型”油气藏及其在全球的重要性: 成藏、分布与评价. 石油勘探与开发, 36(6): 669-682

致 谢

学术质量是学术期刊的灵魂,而保障期刊学术质量的则是广大的评审稿专家。2014 年,有 100 多位专家为本刊评审稿件,他们对稿件进行了客观、公正、诚恳的评价,为提高稿件质量付出了时间和精力,为《矿物岩石地球化学通报》的成长而无私奉献。在此编辑部谨向每一位审稿专家致以衷心的感谢,并希望今后能得到各位的继续支持!

新年伊始,恭祝各位专家:身体健康,新年快乐,阖家幸福。

《矿物岩石地球化学通报》编辑部

2015 年 1 月

附:

2014 年 1 月 1 日至 12 月 31 日审稿专家名单

(①本统计结果为审稿完成时间;②本排名以姓氏汉语拼音为序)

鲍志东	曹 剑	陈代钊	陈多福	陈华勇	陈懋弘	陈衍景	程和发	代世峰	丁俊英	董发勤
杜建国	杜杨松	樊祺诚	范宏瑞	方维萱	冯 东	顾雪祥	郭正府	韩春明	何 斌	何宏平
何金先	何明友	侯卫国	胡瑞忠	胡修棉	华仁民	黄 方	黄海平	黄小龙	黄永建	黄智龙
姜耀辉	蒋少涌	冷成彪	李美俊	李荣西	李思亮	李献华	李 忠	连 宾	廖立兵	林畅松
林 舸	林小云	凌明星	刘德汉	刘桂建	刘家军	刘建明	刘建忠	刘 雷	刘全有	刘文汇
刘显凡	刘学炎	龙晓平	鲁安怀	陆现彩	孟元林	倪怀玮	欧光习	彭平安	彭振安	秦克章
秦 善	邱华宁	邱检生	曲希玉	商立海	邵龙义	申宝剑	申俊峰	陶发祥	陶士振	陶 琰
万 泉	王登红	王 强	王汝成	王旭龙	王学求	王 焰	王岳军	温汉捷	吴晨亮	吴春明
吴浩若	吴敬禄	夏 勇	肖唐付	谢桂青	徐夕生	徐兴旺	徐志方	许 成	许文良	薛春纪
严德天	杨玉双	叶 霖	英基丰	于炳松	曾荣树	张爱铖	张连昌	张 旗	张 乾	张兴春
张永生	张招崇	张正伟	张枝焕	赵长毅	赵振华	郑海飞	郑建平	郑秀娟	郑永飞	周新华
朱光有	朱建喜	朱筱敏	朱永峰	祝新友	邹才能					