

文章编号: 0253-9985(2004)03-0294-06

伊犁盆地二叠系烃源岩沉积环境

苗建宇¹, 周立发¹, 邓 昆¹, 李剑锋^{1,2}, 韩中原¹

(1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系, 陕西西安 710069;

2. 长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710021)

摘要: 据不同岩类烃源岩有机碳含量分布、饱和烃气相色谱及有机质类型等特征, 研究了烃源岩的沉积环境, 分析了沉积环境对有机质丰度和类型的影响。研究认为, 伊犁盆地二叠系烃源岩主要集中在塔姆齐萨依组和巴斯尔干组, 沉积时总体具温带气候特征, 水体的古盐度较高, 水介质条件呈弱碱性-碱性, 沉积环境为弱还原-还原相。其中还原程度强、具有一定深度水体的沉积相带是原始有机质沉积的良好场所, 沉积有机质能及时沉积、保存下来。因此, 烃源岩有机质丰度普遍较高, 类型好; 反之, 则明显变差。

关键词: 二叠系; 烃源岩; 沉积环境; 伊犁盆地

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

Sedimentary environment of Permian source rocks in Yili basin

Miao Jianyu¹ Zhou Lifa¹ Deng Kun¹ Li Jianfeng^{1,2} Han Zhongyuan¹

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi;

2. Petroleum Exploration and Development Research Institute, Changqing Oilfield Company, CNPC, Xi'an, Shaanxi)

Abstract: Based on TOC distribution, gas chromatograms of saturated hydrocarbons and types of organic matter in various source rocks, this paper studies sedimentary environments of source rocks and their effects on abundance and types of organic matter. Source rocks in Yili basin are mainly distributed in the Permian Tamuqisayi and Basiergan Formations deposited in a weakly reducing to reducing environment in temperate climate, where the water body is characterized by relatively high palaeo-salinity with faintly alkaline to alkaline aqueous medium. Sedimentation zones with strong reduction and relatively deep water body are favorable places for deposition and preservation of original organic matters, thus the source rocks have abundant organic matters of favorable types.

Key words: Permian; source rock; sedimentary environment; Yili basin

伊犁盆地位于新疆维吾尔自治区西部, 北靠科古琴山、博罗科努山, 南临哈里克套山, 西部与哈萨克斯坦共和国接壤, 呈东窄西宽向西开口的三角形。二叠系—第四系沉积发育, 累积厚度超过 10 000 m。从总的勘探工作量来看, 盆地勘探程度较低, 钻井数量少且取心不多。无论从勘探手段及研究条件, 还是从研究程度, 都属于勘探初期阶段。从目前预探结果来看, 已在多口探井中见到程度不等的油气显示, 表明伊犁盆地具有较好的含油气远景。油气源对比研究认为, 二叠系暗色泥岩应是盆地油气生成的主要烃源岩层

系^[1~3]。

1 岩性及沉积分布

依据地表露头及井下钻遇地层并参照国际地层新分类方案^[4,5], 盆地内二叠系有效烃源岩沉积主要分布于中二叠统塔姆齐萨依组(相当于瓜德鲁普统罗德阶-卡匹敦阶)和上二叠统巴斯尔干组(相当于乐平统吴家坪-长兴阶)。

1.1 塔姆齐萨依组(P₂t)

烃源岩主要由黑-深灰色钙质泥岩、黑灰色泥(页)岩、泥质碳酸盐岩及碳酸盐岩组成。潘津

布拉克地表剖面中此套烃源岩厚度为 310 m, 尼勒克县城南地表剖面中烃源岩厚度可达 445 m。井下已有两口井分别钻遇此套地层, 其中伊参 1 井揭示暗色泥岩厚度 111 m, 宁 3 井钻遇暗色泥岩厚度 145 m。地表剖面 and 井下取心井段中黑灰、黑色泥岩细微薄层理、水平层理和微波状层理发育, 暗色泥岩普遍含有分散状黄铁矿。

1.2 巴斯尔干组(P_{3b})

烃源岩岩性主要为黑灰色泥岩, 并夹有泥质碳酸盐岩薄层和灰质团块, 分布厚度薄厚不均。其中伊参 1 井钻遇暗色泥岩厚 50 m, 宁 3 井钻遇暗色泥岩厚仅 24 m, 仅宁 4 井钻遇暗色泥岩厚度大, 可达 680.5 m, 表现出本组暗色泥岩在盆地平面分布的不均匀程度较大。水平层理、交错层理

在地表剖面 and 取心层段对应关系较好, 本组地层沉积晚期相变为褐灰色、棕色砂砾岩与棕红色泥岩呈等厚互层, 且砂岩和粉砂岩中普遍发育交错层理和水平层理, 反映了盆地整体沉积环境的改变。

2 沉积环境

针对伊犁盆地二叠系烃源岩发育特征, 重点对盆地北缘潘津布拉克及尼勒克剖面进行了样品采集和地质研究。所有样品元素地球化学测试在西北大学大陆动力学教育部重点实验室用 X 荧光光谱法(XRF) 完成(表 1), 样品有机地球化学分析测试在中国石油勘探开发研究院等单位进行(表 2), 部分井下样品分析数据引用了前人的研究资料*。

表 1 伊犁盆地二叠系部分烃源岩微量元素统计表
Table 1 Statistics of trace elements in some Permian source rocks in Yili basin

凹陷	层位	剖面地点	样号	岩性	微量元素/10 ⁻⁶					V/(V+Ni)
					Sr	Ba	Sr/Ba	V	Ni	
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克	PS- 7	泥质碳酸盐岩	1 033	73	14. 15	111	33	0. 771
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克	PS- 5	碳酸盐岩	860	61	14. 10	52	29	0. 642
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克	PS- 9	碳酸盐岩	709	72	9. 85	43	33	0. 566
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克	PS- 17	泥岩	526	152	3. 46	203	32	0. 864
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克	PS- 12	泥岩	764	82	9. 32	113	33	0. 774
尼勒克	P _{2t}	尼勒克	NS- 7	泥岩	1 861	234	7. 95	114	42	0. 731
尼勒克	P _{2t}	尼勒克	NS- 10	泥岩	2 983	466	6. 40	130	37	0. 778
尼勒克	P _{2t}	尼勒克	NS- 14	泥岩	167	298	0. 56	94	44	0. 681

表 2 伊犁盆地部分烃源岩有机地球化学参数统计表
Table 2 Statistics of organic geochemical parameters of some source rocks in Yili basin

凹陷	层位	剖面地点	有机碳/ %		样品数/个	腐泥组/ %		壳质组/ %	镜质组/ %	惰性组/ %		有机质类型		样品数/个
			变化范围	平均值		变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	类型指数	类型	
伊宁	P _{3b}	伊参 1 井*	0. 79~ 1. 24	0. 88	6	/	/	/	/	/	/	/	/	/
伊宁	P _{2t}	宁 3 井*	0. 64~ 0. 96	0. 84	5	16~ 51	31	17~ 27	21	10~ 35	23	11~ 54	25	29~ - 35 III 10
伊宁	P _{2t}	伊参 1 井*	0. 33~ 1. 34	1. 26	36	/	/	/	/	/	/	/	/	/
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克**	0. 17~ 4. 47	2. 24	14	0~ 68	30	17~ 66	39	8~ 76	31	/	0	74~ - 45 II ₁ - III 5
尼勒克	P _{2t}	尼勒克**	0. 14~ 4. 25	1. 04	13	1~ 18	10	25~ 81	62	6~ 74	29	/	0	49~ - 42 II ₁ - III 4

* 样品由中国科学院广州地球化学研究所分析;
** 样品由中国石油勘探开发研究院实验室分析。

2.1 古气候

二叠纪时新疆北部地区总体具温带气候的特征^[6], 早二叠纪时有转暖的趋向, 到早二叠纪晚期, 岩石中长石碎屑明显增加, 显示形成时的干旱气候条件。伊犁盆地二叠系烃源岩多层段油页

岩、页岩、泥质碳酸盐岩及碳酸盐岩沉积表明, 盆地间歇性地出现了气候变化, 气候相对潮湿引起降雨量增大, 导致泥质碳酸盐岩、钙质泥岩逐渐减少, 碎屑泥岩大量沉积。当湖泊水体 pH 值较高(pH 大于 8) 时, 常沉积含大量碎屑的泥质碳酸盐岩或钙质

* 傅家谟, 盛国荣, 刘德汉, 等. 伊犁盆地伊宁凹陷地球化学特征及成烃潜力评价. 1997

泥(页)岩,如潘津布拉克剖面中钙质泥(页)岩较发育,累积厚度达到100m左右。泥质碳酸盐岩、碳酸盐岩层的产出也说明气候变为相对干燥。事实上,二叠纪伊犁盆地气候的变化趋向始终是存在的,这一点可从地层剖面中不同岩性变化得到证实。

2.2 古盐度

盆地内最主要的烃源岩分布层段塔姆齐萨依组泥岩类烃源岩的Sr/Ba值平均达到5.54,碳酸盐岩类烃源岩的Sr/Ba值平均高达12.70(表1)。两类烃源岩的Sr/Ba值都较高,表明烃源岩沉积时湖盆的古盐度较高,属典型的咸水湖泊沉积环境^[7]。据采样分析*,伊参1井塔姆齐萨依组泥岩类烃源岩Sr/Ba值最大达26.67,最小值为1.60,平均值为2.40。巴斯尔干组沉积时湖盆的古盐度有所减小,泥岩类烃源岩Sr/Ba值的最大值为5.00,最小值为0.60,平均值为1.50。

就盆地内各凹陷的古盐度平面变化而言,不同地区(剖面)的Sr/Ba值表示的古盐度不同,伊宁凹陷潘津布拉克地区古盐度要高于尼勒克凹陷(表1)。

2.3 氧化还原电位(Eh)值与pH值

根据烃源岩层段矿物组合、有机碳含量等资料,结合表示沉积环境的Eh值和pH值的地球化学墙^[8,9]的方法,初步推断出了各烃源岩层段沉积时的Eh值和pH值。方法是将pH等于7.8设定为方解石沉积界面,pH大于7.8时仅有少量方解石;同时以Eh等于0作为有机质存在的界面,其上为氧化环境,其下为还原环境,硫化物出现则为强还原环境。

(1)塔姆齐萨依组烃源岩为深灰色、黑灰色泥灰岩、泥岩及碳酸盐岩。见方解石及自生黄铁矿,有机碳含量平均为1.47%~3.10%。总体表明水介质为碱性(pH大于8),硫化物相(强还原相)。

(2)巴斯尔干组下部为灰色、黑灰色泥岩,上部为褐灰色、棕红色泥岩。见褐铁矿及钛铁矿等,大部分岩石中有机碳含量低(小于0.4%),属非烃源岩类型。水介质总体为弱碱性,氧化相。

3 地球化学特征

3.1 有机碳丰度

测试结果显示,不同岩类烃源岩有机碳含量不同。伊犁盆地各种碳酸盐岩的有机碳含量最大值为0.74%,最小值仅为0.14%,平均值约为

0.31%;各种泥质碳酸盐岩的有机碳含量最大值为0.99%,最小值为0.59%,平均值为0.71%;泥岩的有机碳含量最高值4.47%,最低值0.65%,平均值为2.11%。其次,具不同颜色的泥岩中有机碳含量有所差别,大部分黑灰色泥、页岩中有机碳含量大于2%;多数灰色泥、页岩中有机碳含量为1%~2%;灰色-绿灰色泥岩中有机碳含量大多小于1%。

纵向上,塔姆齐萨依组有机质丰度高于巴斯尔干组;横向上,由北向南、由中心向边缘地区有机碳含量逐渐变低(表2)。其中,塔姆齐萨依组暗色泥岩为二叠系最主要的烃源岩层段,但具体到盆地内部,不同区段发育程度有所不同。

3.2 饱和烃

3.2.1 正构烷烃

部分样品分析显示,二叠系烃源岩岩石抽提物正构烷烃分布类型较多,区别较明显,大致可分为3种类型,反映出有机质沉积与保存环境条件变化较大。第一种类型主要出现在泥岩类烃源岩中,正构烷烃主峰碳位置一般在C₁₅~C₁₇附近,正烷烃分布以单峰型为主,轻重烃比值在1.02~3.88(图1a),反映出当时湖盆水体较深,有机质以水生生物为主;第二种类型主要出现在碳酸盐岩类烃源岩中,主峰碳分布在C₂₅~C₂₉,单峰型为主,轻重烃比值在0.35~0.86,平均约0.67(图1b),说明当时湖盆水体相对变浅,含氧量大大增加,导致氧化程度较高,生物降解作用较强;第三种类型主要出现在泥岩类烃源岩中,正构烷分布以双峰型为主,主峰碳峰位变化范围大,在C₁₇~C₂₆都有分布,轻重烃比值小,为0.4~0.65(图1c),反映出沉积物沉积时湖盆水体较浅,有机质具水生-陆源二元性混合来源的特点,为半还原-半氧化的曲流河-沼泽相沉积。

3.2.2 姥鲛烷/植烷

研究表明,对生油窗内的样品,高姥鲛烷/植烷(Pr/Ph)值(大于3)指示着氧化条件下陆源有机质输入,低Pr/Ph值(小于0.63)代表缺氧的超高盐度环境,对Pr/Ph值在两者之间的样品建议结合其他指标进行分析,如 β -胡萝卜烷就常存在于低硫缺氧的湖泊沉积环境中^[10]。

伊犁盆地二叠系烃源岩中检出的Pr/Ph值在不同地区、不同层段有所区别(表3)。具体表现在部分层段烃源岩的Pr/Ph值相对偏低;部分层段

Pr/Ph 值则相对较高。从盆地内不同剖面采集样品的分析结果来看, 烃源岩的 Pr/Ph 值小于 1 的占 74%, 最小值为 0.23, 最大值为 1.42。同时在多数

样品中程度不同的检出了 β - 胡萝卜烷等类异戊间二烯类化合物, 反映出盆地在多数烃源岩层段沉积时具有还原环境的沉积条件。

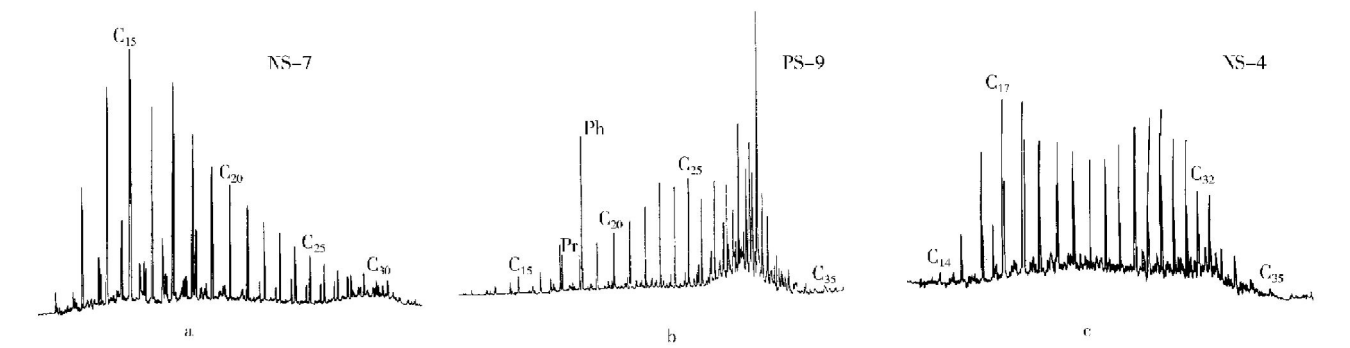


图 1 伊犁盆地二叠系烃源岩饱和烃气相色谱图
Fig. 1 Gas chromatogram of saturated hydrocarbons in Permian source rocks in Yili basin

表 3 伊犁盆地部分烃源岩饱和烃气相色谱参数统计表

Table 3 Statistics of gas chromatographic parameters of saturated hydrocarbons in some source rocks in Yili basin													
凹陷	层位	剖面地点	岩性	主峰碳	轻烃/ 重烃		Pr/ Ph		Pr/ nC ₁₇		Ph/ nC ₁₈		样品数 / 个
					变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	
伊宁	P _{3b}	宁 3 井*	泥岩	C ₂₃	—	0.66	—	0.91	—	0.58	—	0.47	1
伊宁	P _{2t}	宁 3 井*	泥岩	C ₁₆ ~ C ₁₉	1.94~ 4.56	2.85	0.79~ 1.42	1.24	0.27~ 0.61	0.49	0.22~ 0.56	0.39	4
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克**	泥质碳酸盐岩	C ₁₇ ~ C ₃₀	0.86~ 1.57	1.19	0.51~ 1.03	0.72	0.50~ 0.87	0.72	1.10~ 2.32	1.64	3
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克**	碳酸盐岩	C ₁₇ ~ C ₂₉	0.27~ 0.81	0.70	0.23~ 0.46	0.36	0.77~ 0.94	0.86	3.15~ 4.91	4.15	3
伊宁	P _{2t}	潘津布拉克**	泥岩	C ₁₇ ~ C ₃₀	1.69~ 2.14	1.96	0.70~ 1.36	1.07	0.37~ 0.71	0.49	0.44~ 0.97	0.72	3
尼勒克	P _{2t}	尼勒克**	泥岩	C ₁₅ ~ C ₁₇	1.23~ 3.88	2.46	0.68~ 1.17	1.08	0.27~ 0.74	0.48	0.38~ 0.83	0.58	5

* 样品由中国科学院广州地球化学研究所分析;
* * 样品由中国石油勘探开发研究院实验室分析。

3.3 有机质类型

研究发现, 盆地北缘潘津布拉克及尼勒克地表剖面的中二叠统塔姆齐萨依组烃源岩干酪根类型相对发育较好, 腐殖- 腐泥型(II₁) 和腐泥- 腐殖型(II₂) 占比重较大, 达 78% 左右。井下剖面干酪根类型发育较差, 以腐殖型(III) 为主。在宁 3 井烃源岩干酪根分布中, 除个别样品外, 基本属腐殖型(III) 干酪根。

4 沉积环境对有机质分布的影响

4.1 对有机质丰度和类型的影响

烃源岩有机质丰度取决于它的沉积环境^[11~ 13], 有机质沉积具有强烈的不均一性^[14, 15], 实际上都与沉积环境密切相关^[16]。研究证实, 沉积于不同沉积环境的烃源岩, 其生源母质组合、有机质相对含量和显微组分都有所差异(表 2), 干酪根类型也

不同^[17~ 19]。

湖相沉积中聚集的有机质主要来源于水生生物, 其中浮游生物特别是浮游植物中藻类的大量繁殖是沉积有机质的主要来源^[20, 21]。从古生物化石鉴定提供的信息来看, 生物出现的种类和繁衍程度受沉积环境控制, 继而影响到生物的生长与发育, 实际上也就控制了沉积物原始有机质的产率。

结合盆地岩相、沉积特征及有机地球化学特征对比^[22, 23], 证实沉积于半深湖- 深湖相的烃源岩有机碳含量较高; 沉积于浅湖- 水下三角洲相的烃源岩有机碳含量较低; 沉积于河流相- 沼泽相的岩石有机碳含量大多明显偏低。勘探实践表明, 凡是达到较好烃源岩的区段, 基本都形成于各凹陷具有一定水体深度的沉积相带, 如伊宁凹陷就是明证。

沉积于半深湖- 深湖相沉积环境的烃源岩,

干酪根中腐泥组含量波动范围较大,为13%~68%;壳质组为24%~81%,镜质组含量为6%~12%,惰质体基本未见,它们多属II₁型干酪根,其原始有机质以水生生物为主。沉积于浅湖相沉积环境的烃源岩,其特点是干酪根显微组分中腐泥组含量较低,多数为0~35%,壳质组含量高,为43%~70%,镜质组含量为22%~76%,偶见少量惰质体,干酪根类型为腐殖型(II₂-II型),有机质母质以陆源生物为主。沉积于河流-沼泽相发育的近岸-湖相沉积环境的烃源岩,干酪根显微组成中腐泥组与壳质组含量都明显偏低,前者仅为1%左右,后者为17%~25%,镜质组所占比例最大,为74%~83%,平均约为78%,惰质组含量少,平均约1%左右。干酪根类型均为腐殖型(II型),有机质生源组合中陆生植物占绝对优势。

4.2 对有机质沉积、保存的影响

多数学者研究认为,碳酸盐岩类烃源岩有机质以藻类等低等水生生物为主要来源^[24,25],陆源高等植物等有机质贡献较少。从伊犁盆地伊宁凹陷纵向剖面烃源岩岩石抽提物饱和烃发育特点来看(表3),中二叠统塔姆齐萨依组泥质碳酸盐与碳酸盐岩烃源岩层段的岩石抽提物正构烷烃主峰碳分布以单峰型为主,位于C₁₇~C₃₀,轻重烃比值在0.27~1.57, Sr/Ba 值平均达11.98,水介质为碱性(pH 大于8),说明此类碳酸盐岩大多形成在气候条件相对干燥、大气降水少、陆源碎屑物补充不足或较长时间处于氧化程度较高的沉积条件下。除原始有机质产率高的个别层段外,大部分此种类型的烃源岩中有机质丰度偏低,有机质类型受到明显的改造而变差。显然沉积有机质处于较氧化的湖相沉积环境中,多数有机质易发生氧化、分解或变质^[26]。

元素V/(V+Ni)值可反映沉积水体的氧化还原环境^[27~30]。高比值(大于0.84)反映水体分层及底层水体中出现H₂S的厌氧环境;中等比值(0.54~0.72)为水体分层不强的厌氧环境;低值(0.46~0.60)为水体分层弱的贫氧环境。统计显示(表1),部分泥岩的V/(V+Ni)值在0.68~0.86,碳酸盐岩的V/(V+Ni)值为0.57~0.77。显然,两种不同类型的烃源岩沉积水体及氧化-还原程度不同,即泥岩类烃源岩沉积时的水体深度及厌氧程度要大于碳酸盐岩类烃源岩。

可溶有机质统计表明(表3),大多数泥岩类烃

源岩样品中Pr/nC₁₇, Ph/nC₁₈含量相对较低,碳酸盐岩类烃源岩样品中Pr/nC₁₇, Ph/nC₁₈含量相对较高,显示两种不同类型的烃源岩沉积水体深度的差别,说明有机质堆积和保存的沉积环境不同^[31]。

对于湖相碎屑成因的泥岩类烃源岩来说,凡是沉积水动力条件弱,还原程度强,沉积有机质能被及时埋藏的半深湖-深湖相带层段的岩石抽提物正构烷烃主峰碳分布以单峰型为主,轻重烃比值也显示具有一定的水体深度,Pr/Ph值多数小于1。因此,大多具有有机质丰度高、有机质类型好的形成特点;反之,沉积于河流-沼泽相发育的近岸-湖相沉积环境的岩石抽提物正构烷烃主峰碳分布以双峰型为主,在C₁₇~C₂₆都有分布,轻重烃比值明显减小,Pr/Ph值多数大于1,因而有机质丰度、类型明显变差。

参 考 文 献

- 1 新疆油气区石油地质志(上册)编写组. 中国石油地质志(15)[M]. 北京:石油工业出版社,1993. 15~25
- 2 李光云. 伊犁盆地油气地质特征及勘探前景[J]. 新疆地质, 2002, 20(1): 72~76
- 3 熊利平, 焦大庆, 刘铁桩, 等. 伊宁凹陷二叠系含油气系统评价[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 298~299
- 4 金玉玕, 王向东, 尚庆华, 等. 国际二叠纪年代地层划分新方案[J]. 地质论评, 1998, 44(5): 478~488
- 5 金玉玕, 尚庆华, 曹长群. 二叠纪地层研究述评[J]. 地层学杂志, 2000, 24(2): 99~108
- 6 吴绍祖. 新疆早二叠世古气候[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 270~277
- 7 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京:石油工业出版社, 1997. 30~65
- 8 刘宝珺, 张锦泉. 沉积成岩作用[M]. 北京:科学出版社, 1992. 18~21
- 9 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1993. 95~104
- 10 彼得斯K E, 莫尔多万J M. 生物标记化合物指南[M]. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等译. 北京:石油工业出版社, 1995. 105~107
- 11 金强, 查明. 柴达木盆地西部第三系蒸发岩与生油岩共生沉积作用研究[J]. 地质科学, 2000, 35(4): 465~473
- 12 Parris J T. Paleogeography of C_{org}-rich rocks and the preservation versus production controversy[J]. AAPG Studies in Geology, 1995, 40: 1~20
- 13 刘春莲, 杨建林, Hans J R, 等. 影响湖相沉积岩中有机碳分布的主要因素[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 113~115
- 14 朱光有, 金强. 烃源岩的非均质性及其研究——以东营凹陷牛38井为例[J]. 石油学报, 2002, 23(5): 34~39
- 15 朱光有, 金强, 周建林, 等. 济阳拗陷坳陷油田原油物性及其成

- 因研究[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 9~ 13
- 16 李素梅, 李雪, 张庆红, 等. 牛庄洼陷第三系古沉积环境及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 269~ 273
 - 17 刘华, 蒋有录, 杨万芹, 等. 东营凹陷中央隆起带油-源特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 39~ 43
 - 18 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. 254~ 265
 - 19 李延钧, 陈义才, 杨远聪, 等. 鄂尔多斯下古生界碳酸盐烃源岩评价与成烃特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 349~ 353
 - 20 刘传联, 徐金鲤, 汪品先. 藻类勃发——湖相油源岩形成的一种重要机制[J]. 地质论评, 2001, 47(2): 207~ 210
 - 21 何伟钢, 金奎励, 郝多虎. 济阳坳陷郭7井沙河街组三段泥岩生、储油特性及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 375~ 379
 - 22 Carroll A R, Bohacs K M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins[J]. AAPG Bull, 2001, 85(6): 1 033~ 1 053
 - 23 Katz B J. Factors controlling the development of lacustrine petroleum source rocks: an update[J]. AAPG Studies in Geology, 1995, 40: 61~ 79
 - 24 程克明, 王兆云, 钟宁宁, 等. 碳酸盐岩油气生成理论与与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 43~ 53
 - 25 钟宁宁, 秦勇. 碳酸盐岩有机岩石学[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 14~ 33
 - 26 夏新宇, 曾凡刚, 洪峰. 中国陆表海碳酸盐岩有机质的生烃潜力[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 287~ 292
 - 27 Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, USA[J]. Chemical Geology, 1992, 99: 65~ 82
 - 28 Genger D, Sethi P. A geochemical and sedimentological investigation of high-resolution environmental changes within the late Pennsylvanian (Missourian) endora core black shale of the mid-continent region [A]. In: Schieber J, Zimmerle W, Sethi P, et al. Shale and mudstones I [C]. Stuttgart, Germany: E Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1998. 271~ 293
 - 29 颜佳新, 徐四平, 李方林. 湖北巴东栖霞组缺氧沉积环境的地球化学特征[J]. 岩相古地理, 1998, 18(6): 27~ 32
 - 30 吴朝东, 杨承运, 陈其英. 湘西黑色岩系地球化学特征和成因意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(1): 26~ 39
 - 31 陈建渝, 朱芒征. 含油气系统与有机地球化学的关系[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 246~ 249

(上接第 287 页)

- 3 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术——高精度地震探测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 592~ 596
- 4 张善文, 王英民, 李群, 等. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 5~ 7
- 5 丁翠平, 雷安贵. 岩性油藏预测技术[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(1): 6~ 9
- 6 王捷, 关德范. 油气生成运移聚集模型研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 194~ 197
- 7 李素梅, 李雪, 张庆红, 等. 牛庄洼陷第三系古沉积环境控油气作用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 269~ 272
- 8 朱光有, 金强, 周建林, 等. 济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因研究[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 9~ 13
- 9 刘华, 蒋有录, 杨万芹, 等. 东营凹陷中央隆起带油-源特征分析[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 39~ 43
- 10 何伟钢, 金奎励, 郝多虎. 济阳坳陷郭7井沙河街组三段泥岩生、储油特性及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 375~ 379
- 11 陈冬霞, 庞雄奇, 翁庆萍, 等. 岩性油藏三元成因模式及初步应用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 228~ 231
- 12 陈章明, 张云峰. 凸镜状砂体聚油模拟实验及其机理分析[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 166~ 170
- 13 姜振学, 陈冬霞, 苗盛, 等. 济阳坳陷透镜状砂岩成藏物理模拟实验[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 228~ 232
- 14 曾溅辉, 金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 207~ 210
- 15 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J]. AAPG Bull, 1990, 74: 1~ 12
- 16 陈宝宁, 王宁. 异常压力研究进展与方法实践[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 35~ 37