

文章编号: 0253-9985(2004)01-0009-05

济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因探讨

朱光有¹, 金强², 周建林³, 王铜山², 李剑¹, 张林晔⁴

(1. 中国石油石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061;

3. 中国石化胜利油田胜利采油厂, 山东东营 257051; 4. 中国石化胜利油田地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 依据原油的物理性质可将东营凹陷胜坨地区的原油分为稠油和正常稀油, 稠油分布于浅层, 是由沙河街组四段烃源岩提供的低熟油遭受次生改造而形成; 正常稀油分布于深层的岩性和构造-岩性油气藏中, 成熟度较高。按照硫含量, 又可分为 3 类: 高含硫原油分布于浅层, 油-源对比表明该原油来自于盐湖-咸水湖的沙河街组四段烃源岩; 低硫原油分布在深层的沙河街组三段储集层中, 原油来自于淡水-半咸水沙河街组三段烃源岩; 中等含硫原油则多为混源油。因此硫含量可以作为油源对比的一个有效指标。

关键词: 原油物性; 生物降解; 成因; 稠油; 胜坨油田

中图分类号: TE112.1 文献标识码: A

Physical properties and genesis of oil in Shengtuo oilfield in Jiyang depression

Zhu Guangyou¹ Jin Qiang² Zhou Jianlin³ Wang Tongshan² Li Jian¹ Zhang Linye⁴

(1. Petroleum Exploration and Development Research Institute of CNPC, Beijing; 2. University of Petroleum, Dongying, Shandong;

3. Shengli Oil Production Plant of Shengli Oilfield Company Co. Ltd, Dongying, Shandong;

4. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Co. Ltd, SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Crude oil in Shengtuo oilfield in Dongying depression can be classified into heavy oil and normal light oil according to their physical properties. The former, accumulated in shallow reservoirs, are the result of secondary modification of low-maturity oil generated from the source rocks in the 4th member of Shahejie Formation; while the latter, accumulated in deep lithological and structural-lithological reservoirs, have high maturity. They can also be divided into three types according to their sulfur content. Oil with high sulfur content are distributed in shallow reservoirs and generated from source rocks deposited in salt or saline lake in the 4th member of Shahejie Formation; oil with low sulfur content are distributed in the deep 3rd member of Shahejie Formation and are generated from source rocks deposited in freshwater-brackish lake in the 3rd member of Shahejie Formation; while oil with medium sulfur content have mixed sources. Therefore, sulfur content can be used as an effective index for oil source correlation.

Key words: physical property of oil; biodegradation; genesis; heavy oil; Shengtuo oilfield

我国东部含油气盆地的叠加演化及动力学环境构成的复式成盆系统孕育了多个有效烃源岩发育的黄金时期^[1~3], 并在热演化过程中出现多期生烃运聚成藏与交叉混合变化, 形成了复杂的烃类流体系统^[4~6], 再加上后期的改造和降解等次生变化, 使现存油藏的流体呈现出不同的物理化

学特征。粘度、密度和含硫量是原油最主要的物性参数, 它们与生油母质的性质、成烃环境、演化程度、次生稠变作用等都具有十分密切的关系^[7~11]。本文以东营凹陷胜坨油田为例, 从原油的物性关系、地球化学特征等方面出发, 探讨流体系统的变化规律及分布特征。

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 40272061)和“十五”国家重大科技攻关项目(编号: 2001BA605A09)。

第一作者简介: 朱光有, 男, 28 岁, 博士后, 油气地质与有机地球化学

收稿日期: 2004-01-06

1 地质概况

胜坨油田位于济阳拗陷南部的东营凹陷北部陡坡断裂构造带中段,北靠陈家庄凸起,南接中央断裂背斜带,西南为利津洼陷,东南为民丰洼陷,勘探面积 230 km²。自 1966 年钻探以来,相继发现了沙河街组二段、一段、三段、四段、东营组、馆陶组和明化镇组等 7 套含油层系,累计上报探明加控制储量超过 5 × 10⁸ t^[12]。

胜北断层是胜坨油田最重要的断层,走向近东西,倾向近南北,平面上呈弧型展布,形成于沙河街组四段(以下简称沙四段),沙河街组三段(以下简称沙三段)进入鼎盛发育期,之后活动减弱,它控制了胜坨地区下第三系的沉积体系和油气成藏过程。依据地质特征,可将胜坨油田分为三部分:胜北断层以北(简称上升盘)、断层以南的浅层(沙河街组二段及其以上地层)和深层(沙三段和沙四段)。由于胜北断层长期继承性活动,使其上下盘断距可达上千米,而且上、下盘储层组合相差

较大:上升盘储集层主要由沙四段冲积扇砂砾岩体组成,埋藏较浅;而下降盘浅层为一个典型的逆牵引构造,沙河街组二段(以下简称沙二段)三角洲砂体为其储层,是胜坨油田的主力含油层系。近几年在深层(沙三段和沙四段)油气勘探取得了显著成果,发现了大量的由各类浊积岩砂体所形成的隐蔽油气藏^[13~15]。

2 原油物性特征

依据原油的物理性质(主要是原油的密度和粘度),可将该区原油分为两种类型:Ⅰ型原油(稠油)的密度和粘度较大,分别在 0.870 1~ 0.944 5 g/cm³和 8.35~ 873.2 mPa·s(表 1),区域上主要分布在胜北断层上升盘及下降盘的浅层;Ⅱ型原油(稀油)的密度、粘度低,平均值在 0.86 g/cm³和 10 mPa·s,主要分布在下降盘深层(沙三段和沙四段)。这种特征与油藏的埋深关系十分密切(图 1),浅层原油因遭受了生物降解作用而呈现出高密度和高粘度的特征。

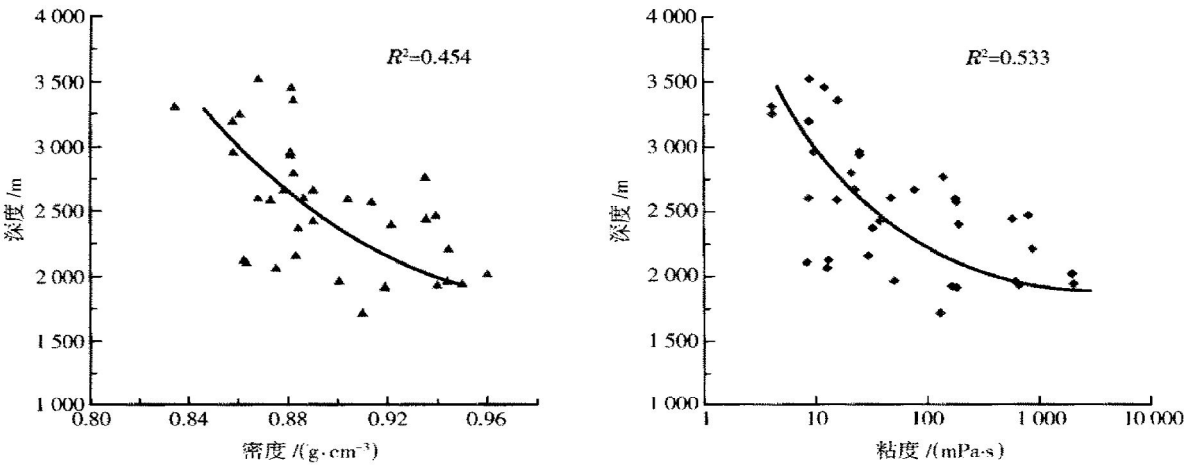


图 1 密度、粘度与深度的关系

Fig. 1 Plots of density and viscosity vs depth

表 1 胜坨油田原油平均物性表

Table 1 Average physical properties of crude oil in Shengtuo oilfield

位置	含油层系	深度/m	油源	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/(mPa·s)	含硫/%	凝固点/℃	饱/芳	Pr/Ph	*
上升盘	Es ₄	1 632~ 2 482	Es ₄	0.909 3	274. 6	0.881	21. 56	1. 95	0.24	0.82
	Es ₂ , Es ₁ , Ed	1 832~ 2 645	Es ₄	0.911 7	606. 2	1. 118	18. 44	1. 64	0.49	0.29
下降盘浅层	Es ₂ , Es ₃	2 231~ 2 900	Es ₃ ^下	0.887 1	35. 1	0.160	39. 12	2. 8	0.08	0.81
	Es ₃ ^中 , Es ₃ ^上 , Es ₂	2 400~ 3 160	Es ₃ ^下 + Es ₄	0.875 3	22. 4	0.410	32. 30	3. 26	0.56	0.19
下降盘深层	Es ₄	3 288~ 3 496	Es ₄	0.852 9	8. 8	0.480	29. 05	4. 11	0.45	0.42
	Es ₃ ^中 , Es ₃ ^下	3 100~ 3 352	Es ₃ ^下	0.865 1	10. 1	0.130	28. 71	5. 82	1. 01	0.08

* 伽马蜡烷/C₃₀藿烷; Es₃^上, Es₃^中, Es₃^下: 分别代表沙河街组三段上、中、下部

从原油的含硫量来看, 又可将胜坨油田原油分成3类: ①原油的含硫量较高, 绝大多数含硫量为0.44%~1.72%, 平均含量为0.62%, 地层水为CaCl₂型; ②原油以低含硫量与前者形成明显差别, 硫含量一般小于0.3%, 多数在0.1%左右, 地层水为NaHCO₃型; ③原油含硫量介于①和②之间, 大多数含硫量为0.3%~0.5%(表1)。

3 成因分析

原油的密度与粘度关系十分密切, 随着密度增加原油粘度呈指数关系迅速增大(相关系数 $R=0.94$)(图2)。由于原油的物理性质是其化学性质的体现^[7], 因此化学组分控制了原油的密度和粘度。从其族组成含量来看: 原油的粘度与非烃和沥青质的含量具有正相关关系, 而与饱和烃的含量具有负相关关系(表1)。上升盘及下降盘的浅层(沙二段—东营组)原油非烃和沥青质的含量在60%以上, 饱和烃仅占28%左右, 而深层(沙三段—沙四段)饱和烃可占65%以上。这种关系体现了饱和烃组分不具有极性或极性较弱, 在原油中起分散剂和溶解剂作用, 其含量增大, 原油粘度降低。

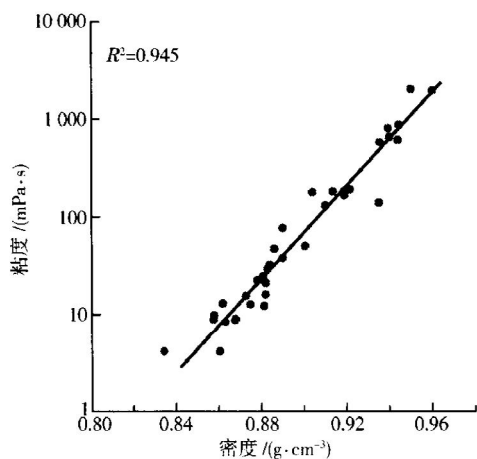


图2 密度与粘度的关系

Fig.2 Relationship between density and viscosity

硫含量与原油的粘度、密度和生物标志化合物等都具有十分密切的关系。大量研究结果表明, 东营凹陷发育了两套(沙四段和沙三段下部)有机地球化学特征明显不同的烃源岩^[16~19]: 形成于盐湖—咸水湖的沙四段上部烃源岩以明显的植烷优势($Pr/Ph < 0.6$)和高伽马蜡烷含量(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷 > 0.2)的特点而有别于形成淡水—半

咸水环境下的沙三段下部烃源岩($Pr/Ph > 0.6$ 、伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷 < 0.2); 而形成于半咸水环境下沙一段的烃源岩, 虽然在济阳坳陷的沾化凹陷比较发育^{*, [20]}, 却在东营凹陷不发育, 主要有两方面原因, 一是埋藏较浅, 绝大多数小于2 800 m, 尚未进入生油门限, 二是由于泥岩质量较差, 不具备形成低熟油的条件, 故可否定沙一段烃源岩。由于沙四段烃源岩与沙三段下部烃源岩在 Pr/Ph 和伽马蜡烷含量上存在明显的区别, 因此, 本区的油—源对比较容易确定, 即存在3种不同生物标志特征的原油: ①来自沙四段上部烃源岩提供的原油、②来自沙三段下部烃源岩提供的原油和③沙三段下部烃源岩与沙四段上部烃源岩提供的混合油(表1)。从图3可以看出, 硫含量与原油的 Pr/Ph 和伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值存在明显的相关关系, 表明高硫含量原油主要与沙四段盐湖—咸水湖环境烃源岩生成的原油有关, 较低的硫含量原油则与沙三段下部烃源岩有关, 而介于二者之间(硫含量在0.4%左右)的原油, 可能为来自不同源岩的混源原油。

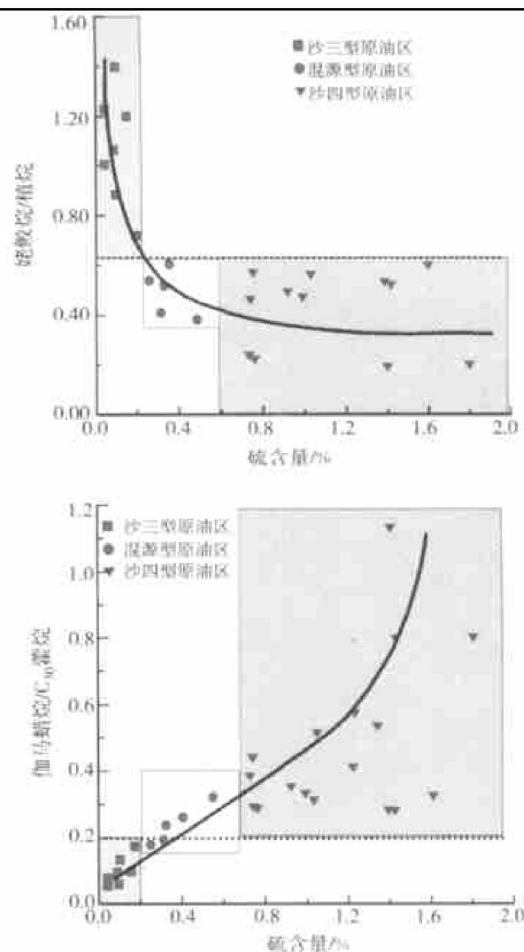


图3 硫含量与生物标志化合物的关系

Fig.3 Plots of sulfur content vs biomarker

* 朱光有, 金强, 张水昌, 等. 陆相断陷盆地复式成烃及成藏系统研究——以济阳坳陷沾化凹陷为例[J]. 石油学报, 2004, 25(2) (待刊)

来自同一套烃源岩生成的原油, 硫含量又与原油密度和粘度密切相关, 随着原油密度和粘度的增大, 含硫量增加(图 4)。由于含硫量较高的原油主要分布在浅层(图 5), 而浅层原油普遍遭受了不同程度的生物降解作用, 因此, 硫含量的增加与原油遭受生物降解的次生改造有关。在生物降解

的过程中, 细菌主要消耗了原油中的正构烷烃、异构烷烃等化合物, 由于它们的损失使原油中硫的含量相对增高, 同时在新陈代谢的过程中也会产生一部分硫化物^[7], 从而使原油变稠、含硫量增大。另外原油的凝固点与密度和粘度都具有良好的反相关关系(图 6), 说明生物降解过程使原油的

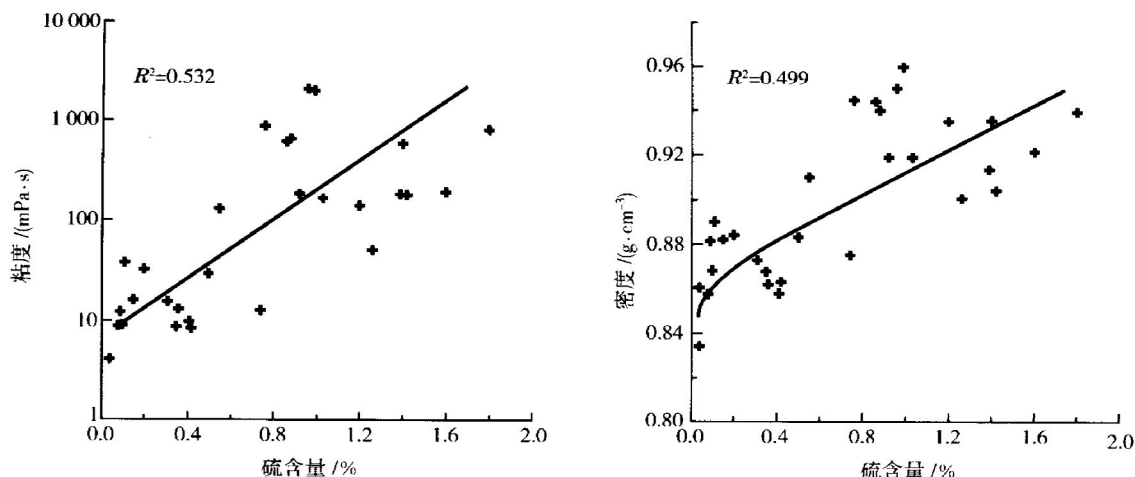


图 4 硫含量与密度、粘度的关系

Fig. 4 Plots of sulfur content vs density and viscosity

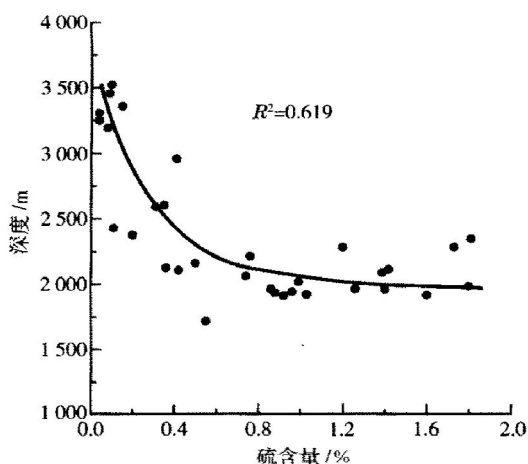


图 5 硫含量与深度的关系

Fig. 5 Plots of sulfur content vs depth

凝固点降低。

4 高硫原油的地化特征及分布

胜坨油田高硫原油分布广泛, 但却具有不同的有机地球化学特征。从表 1 可以看出, 高硫原油主要分布于浅层及下降盘的沙四段储层。虽然从油源对比结果可以看出高硫原油来自盐湖-咸水湖的沙四段上部烃源岩, 但是在浅层的稠油中硫含量更高, 少数高达 2.0% 以上。从原油的生物标志化合物组成来看, 硫含量较高的原油成熟度较低, Ts/Tm , $(C_{29} \text{甾烷 } 20S)/(20S+20R)$, C_{29} 胆甾

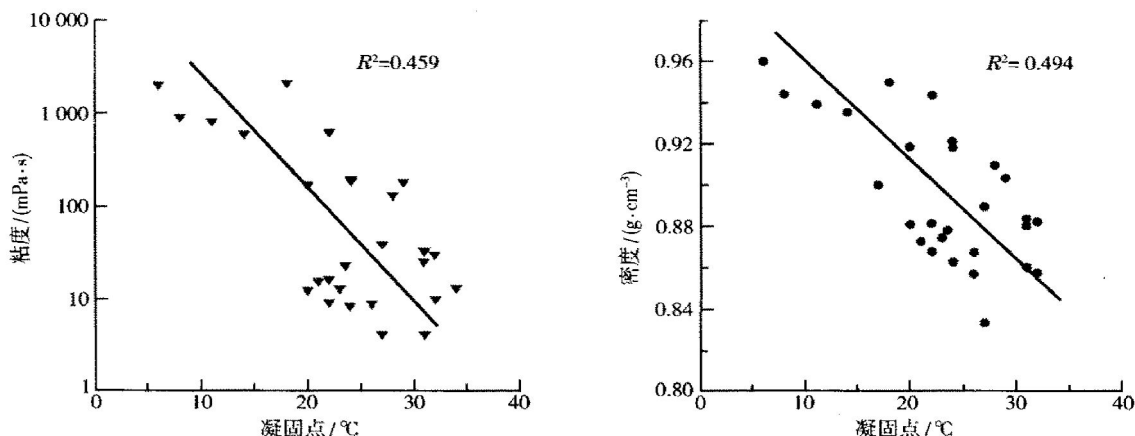


图 6 凝固点与密度、粘度的关系

Fig. 6 Plots of solidification point vs density and viscosity

烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 等成熟度参数分别小于 0.43, 0.31, 0.29, 孕甾烷不发育, 伽马蜡烷含量较高, 偶碳优势明显; 大部分原油发生了次生变化, 遭受了轻微-中等生物降解作用, 在饱和烃气相色谱图上正构烷烃部分或全部丢失(图7), 残留高分子量的藿烷、甾烷等重质组分。高硫低成熟稠油在胜北地区大量分布表明, 沙四段烃源岩早期生成的烃类沿胜北断层向上运移, 并聚集成藏。随后遭受了次生改造。

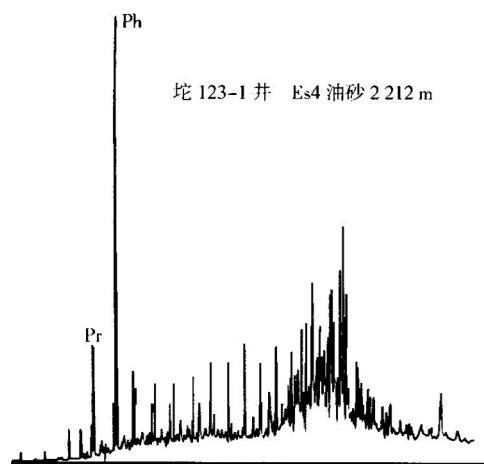


图7 原油典型饱和烃气相色谱图

Fig.7 Typical gas chromatogram of saturated hydrocarbon in crude oil

深层的高硫原油主要分布在沙四段岩性油气藏中或沙三段中-上部构造-岩性油气藏中, 其特征与沙四段成熟烃源岩生物标志化合物特征十分相近: Pr/Ph 在 0.45 左右, 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值接近 0.42, 孕甾烷和升孕甾烷含量较高, 成熟度参数 Ts/Tm , $(C_{29}\text{甾烷 } 20S)/(20S + 20R)$, $C_{29}\text{胆甾烷 } \beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 等分别大于 0.59, 0.42, 0.40, 为成熟原油^[21]。这种现象说明沙四段烃源岩至少存在两次排烃过程, 并且深层油气藏形成时间较晚。另外, 中-浅层(沙三段中部-沙二段)有大量原油的硫含量为 0.32%~0.62%, 大多数在 0.4% 左右, 介于沙三段和沙四段原油之间, 原油的生物标志化合物特征具有沙三段和沙四段烃源岩的双重特征: Pr/Ph 值为 0.28~0.65, 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为 0.15~0.19, 重排甾烷和 4-甲基甾烷含量中等, 甾烷异构化参数 $C_{29}20S/(20S + 20R)$ 为 0.38~0.46, 为成熟的混源油, 反映了“一藏多源”的混源成藏现象。

参 考 文 献

- 1 胡见义, 徐树宝. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. 石油勘探与开发, 1986, (1): 5~9
- 2 金强. 关于东部油气富集盆地勘探可持续性的一些思考[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(1): 5~8
- 3 戴俊生, 陆克政, 漆家福, 等. 渤海湾盆地早第三纪构造样式的演化[J]. 石油学报, 1998, 19(4): 16~20
- 4 赵文智, 何登发, 瞿辉, 等. 复合含油气系统中油气运移流向研究的意义[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 7~12
- 5 陈建渝, 熊书权, 毕研鹏, 等. 断陷盆地中含油气系统的特征[J]. 石油学报, 2000, 21(2): 36~41
- 6 何登发, 赵文智, 雷振宇, 等. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征[J]. 地质前缘, 2000, 7(3): 23~37
- 7 廖永胜, 宋一涛, 王宇蓉, 等. 东营凹陷稠油性质与稠变作用研究[A]. 见: 梁狄刚, 黄第藩, 马新华, 等. 有机地球化学研究新进展: 第八届全国有机地球化学学术会议论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 258~263
- 8 陈建渝, 李水福, 田波, 等. 垦西-罗家油区稠油成因[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 248~253
- 9 陈发景, 李明诚, 孙家振. 我国东部白垩纪-早第三纪蒸发岩和生油岩沉积的区域构造背景[J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(2): 133~140
- 10 洪志华, 陈致林, 殷沫, 等. 东营凹陷牛38井沙三段中下部有机碳分布特征[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 292~299
- 11 张敦祥, 张方吼, 骆光华. 梁家楼湖相烃类从泥岩向浊积岩的初次运移[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 334~344
- 12 王风华, 庞瑞峰. 胜坨地区油气藏类型及分布规律[J]. 复式油气田, 2000, (2): 20~23
- 13 袁选俊, 谯汉生. 渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 130~133
- 14 冯有良, 何立琨, 郑和荣, 等. 山东牛庄地区沙三段前三角洲斜坡重力流沉积[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 314~318
- 15 曾溅辉, 郑和荣, 王宁. 东营凹陷岩性油气藏成藏动力学特征[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 326~329
- 16 朱光有, 金强, 周建林. 东营凹陷旋回式深湖相烃源岩研究[J]. 地质科学, 2003, 38(2): 254~262
- 17 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
- 18 朱光有, 金强, 王锐. 有效烃源岩的识别[J]. 石油大学学报, 2003, 27(2): 6~10
- 19 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化学特征研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 506~512
- 20 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35~42
- 21 Seifert W K, Moldovan J M. Paleoreconstruction by biological markers[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 783~794