

鄂尔多斯盆地姬塬油田延长组原油性质与来源分析

郑荣才¹, 牛小兵², 梁晓伟², 王成玉², 辛红刚²

(1 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2 中国石油天然气集团公司长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710018)

摘要: 通过原油与油田水物理性质、原油与烃源岩族组成、饱和烃气相色谱以及萜烷与甾烷等生物标志化合物特征的多项地球化学指标对比, 表明鄂尔多斯盆地姬塬油田延长组长8、长6、长4+5等油层组原油性质较为复杂, 其成熟度、母源氧化—还原环境及母质类型等方面存在显著差异。烃源岩评价也显示长9、长8、长7、长6、长4+5段的暗色泥岩有机质质量和类型有所差别, 但均具备生排烃能力。油源对比结果进一步证明: 成藏过程存在多套油源混源供油的成藏效应, 其中长8油层组原油主要来源于长7—长8段烃源岩; 长6油层组原油主要来源于长7—长6段烃源岩; 长4+5油层组原油存在长7、长6及长4+5段多源烃源岩的贡献。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 姬塬油田; 延长组; 原油性质; 烃源岩; 油源对比

中图分类号: P618.13; TE122.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)02-0142-04

Study on the Property and Origin of Crude Oil of Yanchang Formation in Jiyuan Oilfield, Ordos Basin

ZHENG Rong-cai¹, NIU Xiao-bing², LIANG Xiao-wei², WANG Cheng-yu², XIN Hong-gang²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology,

Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oilfield

Branch Company, China National Petroleum Corporation, Xi'an 710018, Shaanxi, China)

Abstract Based on the comparison of multiple physicochemical properties including the property of crude oil and oilfield water, group composition of crude oil and hydrocarbon source rock, gas phase chromatography of saturated hydrocarbon and the characteristics of terpane, sterane and other biomarkers, the results showed that the properties of crude oil were especially complex for Chang-4+5, Chang-6 and Chang-8 of Yanchang Formation in Jiyuan Oilfield, Ordos Basin; there were obvious differences in the maturity, source rock depositional redox environment and type. The appraisal of hydrocarbon source rock indicated that the quality and type of organic matter of dark mudstone for Chang-4+5, Chang-6, Chang-7, Chang-8 and Chang-9 of Yanchang Formation were different, but all had the ability of hydrocarbon generation and expulsion. The comparison of oil sources further proved that there were multiple accumulation effects of oil supply with mixed sources in the accumulation process; the crude oil of Chang-8 came from hydrocarbon source rock of Chang-7-Chang-8; the crude oil of Chang-6 came from hydrocarbon source rock of Chang-7-Chang-6; the crude oil of Chang-4+5 came from multiple hydrocarbon source rocks of Chang-7, Chang-6 and Chang-4+5.

Key words: Ordos Basin; Jiyuan Oilfield; Yanchang Formation; property of crude oil; hydrocarbon source rock; oil source correlation

0 引言

姬塬油田位于鄂尔多斯盆地中西部, 区域构造横跨天环坳陷和伊陕斜坡带(图1)。近年来该地区于上三叠统延长组长8、长6、长4+5段等多个层位

的油气勘探开发取得了重大突破, 共同构成了姬塬油田延长组油藏的主力产层^[1-10]。然而, 由于岩性油藏的隐蔽性、油品性质的复杂性, 围绕多套出油层系的主力油源及油源贡献问题一直是该盆地石油地质工作者探讨与争论的热点, 已成为束缚姬塬油田

收稿日期: 2011-01-13

基金项目: 国家科技重大专项基金项目(2008ZX05000-003-01)

作者简介: 郑荣才(1950-), 男, 上海人, 教授, 博士研究生导师, 从事沉积学、层序地层学和石油地质学研究。E-mail: zhengrc@cdut.edu.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

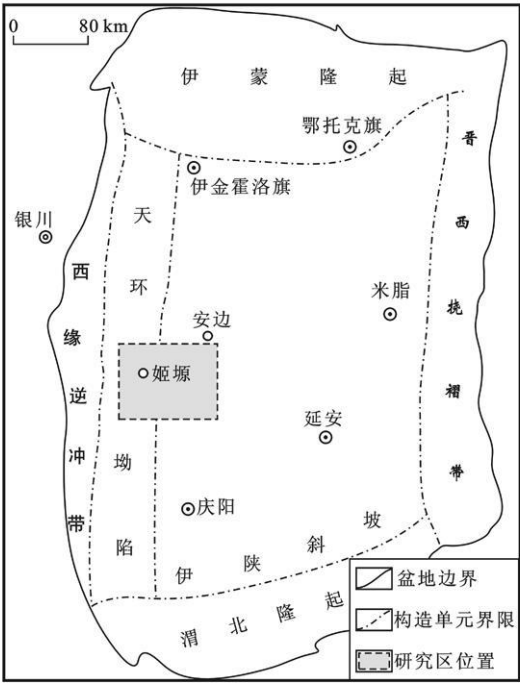


图 1 姬塬油田位置和区域构造

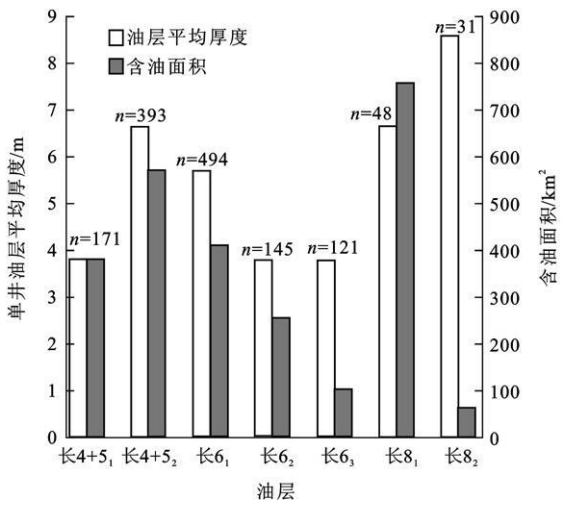
Fig. 1 Location and Tectonic of Jiyuan Oilfield

成藏机理认识和勘探开发拓展的瓶颈之一^[11-18]。笔者以“源控论”为指导,综合利用油气和油藏地球化学及 EasyRo_%模型的生烃史模拟技术^[19-20],从油藏特征和原油性质入手,通过潜在烃源岩的综合评价,重点开展精细油源对比研究,探讨姬塬油田长 8、长 6、长 4+5 等油层组油藏的成因机制,从“源”出发划分含油气系统,为下一步勘探目标优选提供依据。

1 油藏特征与流体性质

姬塬油田上三叠统延长组(尤其是长 8、长 6、长 4+5 段)原油富集程度高、资源潜力大,同时受圈闭类型多样、圈闭空间隐蔽、运聚规律复杂、富集区域局限等成藏条件的影响,或呈叠置连片状分布,或呈孤立分布。对不同区带、不同圈闭类型、不同供烃强度以及不同输导性能的同—圈闭类型,其油气成藏特征、成藏规模均不相同,资源空间分布贫富差异大。从总体上看,各油层组油藏主要以岩性圈闭为主,砂体侧向尖灭或岩性致密遮挡型的油藏往往具有叠置连片状分布的特点,油藏规模相对较大,含油丰度及产量亦较高;而孤立分布的透镜体型油藏规模小,隐蔽性强,含油丰度及产量亦较低。对研究区内 150 口油井的长 8₂、长 8₁、长 6₁ 和长 4+5₂ 油层的试油数据统计结果表明,各油层组油藏厚度差异较大(图 2),具有平均厚度薄、垂向上油层叠置分布,平面上油层与水层间互不均—分布等特点。单

井油层厚度为 1~30 m,主要集中在 3~9 m,平均 6 m 左右,其中以长 8₂ 油层平均厚度最大(平均 9 m 左右),长 8₁、长 6₁、长 4+5₂ 油层平均厚度较大(平均 6~7 m),长 6₃、长 6₂、长 4+5₁ 油层平均厚度较小(平均 4 m 左右)。已探明原油储量集中分布在红井子—堡子湾、麻黄山—刘峁塬、王洼子—吴仓堡、杨井—新安边、耿湾—黄米庄科等几个局限区带。在通源断裂不发育的构造背景中,油藏主要呈小规模孤立分散分布形态,具有很强的非均质性、隐蔽性和近源成藏特点。据此,可初步推断垂向上的多套原油并非仅来源于某一层段的烃源岩。



注: n 为单井个数。

图 2 油层厚度与含油面积对比

Fig. 2 Correlation for the Reservoirs Thickness and Area

据姬塬油田延长组近 100 件油田水分析数据,显示地层水主要为 CaCl₂ 型。详细对比各油层组地层水矿化度、变质系数和脱硫酸系数等参数指标(表 1),表明长 6 与长 4+5 油层组的地层水矿化度较高,平均为 80 g/L,化学性质基本接近,与流体长期处于相对封闭的还原环境、活跃性差、很少与外界流体相交换有关,故矿化度较高,变质系数和脱硫酸系数都较低;而长 8 油层组地层水矿化度较低,平均仅为 31 g/L,与长 6 及长 4+5 油层组存在显著差别,说明长 8 油层组地层水处于较开放的偏氧化环境体系中,流体活动性较强,有一定的变质程度,脱硫酸系数显著增高。各油层组油田水性质的差异性说明垂向上多套油层处于不同的流体化学场,这证明各油层组原油及其烃流体来源亦不应该属于同一流体系统。

姬塬油田延长组各油层组原油物理性质的统计资料表明,原油密度、黏度、含蜡量 3 项指标都存在从长 8→长 6→长 4+5 油层组逐渐增高的变化趋势

表 1 油田水化学性质对比

Tab. 1 Correlation for Chemical Properties of Oilfield Water

参数	油层					
	长 4+5 ₁	长 4+5 ₂	长 6 ₁	长 6 ₂	长 6 ₃	长 8 ₁
矿化度/(g·L ⁻¹)	88	97	95	86	81	31
变质系数	0.45	0.51	0.51	0.52	0.49	0.43
脱硫酸系数	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.14

(图 3), 油品性质总体较为复杂, 原油物性以长 8 油层组最好, 其密度、黏度最低, 而长 4+5 油层组最差, 其密度、黏度最高。原油物理性质存在差异, 主要与油藏充注时间和流体来源不同有关, 其中供烃母质来源、母质的沉积环境和热成熟度等方面的差异更为重要。各油层组的原油族组成与饱和烃气相色谱质谱特征的对比分析表明, 长 8 油层组气相色谱多呈现前峰型特征(主峰碳主要为 C₁₉), 质谱图中三环萜系列相对含量较高, 三降藿烷峰面积比(18 α -三降藿烷与 17 α -三降藿烷峰面积比)平均大于 2, 重排胆甾烷和 4-甲基甾烷含量较高, C₂₇~C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ 胆甾烷含量具“L”型式样, 说明其成烃母质类型较好或成熟度较高; 长 6 油层组质谱图中五环三萜系列相对含量偏高, 三降藿烷峰面积比平均为 1~2, 重排胆甾烷和 4-甲基甾烷含量偏低, C₂₇~C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ 胆甾烷含量基本具“V”型式样, 表明原油母质类型和成熟度处于中等水平; 长 4+5 油层组原油气相色谱多呈现双峰型特征, 质谱图中五环三萜系列相对含量较高, 三降藿烷峰面积比平均为 0.5~1.5, 重排胆甾烷和 4-甲基甾烷含量较低, C₂₇~C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ 胆甾烷含量具反“L”型式样, 说明原油的供烃母质主要来源于陆源高等植物, 低等水生生物贡献很少且有机质成熟度偏低。对比分析结果表明, 长 8、长 6、长 4+5 油层组原油在成熟度及母源性质方面存在一定差异, 具有不同供烃母质来源或混源性质。

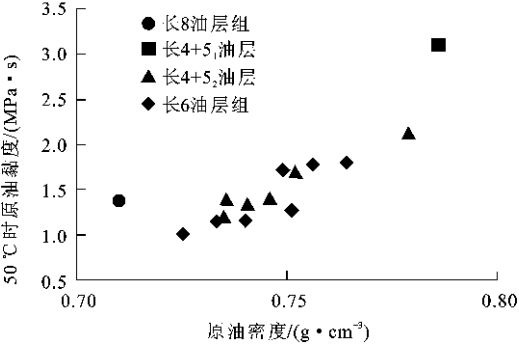


图 3 地层原油物性对比

Fig. 3 Correlation for Physical Properties of Crude Oil

2 源岩特征与油源对比

姬塬油田延长组发育多套潜在烃源岩层段, 由于纵向上相互分隔、横向上不连续以及沉积环境不同所导致的有机质丰度及类型各异, 生烃演化程度差异也较大, 加之烃源灶时空迁移等多因素影响, 导致油源关系认识不清、有效供烃岩层不确定等问题。研究区长 9、长 8、长 7、长 6、长 4+5 段沉积环境和有利烃源岩发育的暗色泥岩沉积区受构造格局与演化过程明显控制, 均具有一定的生烃能力, 各项评价参数都达到了中等或较好烃源岩的标准^[14], 但不同层段的烃源岩具有不同的沉积有机相背景, 有机质类型和生烃潜能存在较大差异, 各层段烃源岩地球化学指标特征如下。

(1)发育广泛的长 7 段泥岩有机质丰度最高, 总有机碳平均质量分数为 2.8%, 氯仿沥青“A”平均为 0.3%, 有机质类型以较好的 I 型为主, 镜质体反射率(R_o)为 0.8%~1.0%, 处于大量生排液态烃的高峰期, 生烃潜量高达 7.5×10⁻³, 是延长组最为重要的优质烃源岩层系。

(2)长 8 段生烃有机质丰度较高, 总有机碳平均质量分数为 1.5%、氯仿沥青“A”平均为 0.2%, 但因受整体长 8 期浅水三角洲沉积环境所限, 生烃母质中的陆源高等植物贡献较多, 有机质类型较差, 以Ⅱ₁和Ⅱ₂型为主, R_o为 0.9%~1.1%, 生烃潜量中等^[21]。

(3)长 6 和长 4+5 段泥岩有机质各项参数指标较为相近, 有机质丰度都处于中等水平, 总有机碳平均质量分数为 1.0%~1.3%、氯仿沥青“A”平均为 0.06%左右, 有机质类型为Ⅱ₂型, R_o为 0.7%~0.9%, 进入了生烃门限, 生烃潜量一般, 平均为 1.0×10⁻³左右。

(4)根据前人研究成果, 北部的古峰庄区块长 9 段泥质有机质同样具备较好的生烃能力, 但其供烃油层、贡献率等问题尚待进一步研究^[22-23]。

通过各层段烃源岩和各油层组原油的饱和烃气相色谱测试分析, 选取意义明确和对比性强的生物标志化合物特征, 如五环三萜与三环萜峰面积比、三降藿烷峰面积比、 γ 蜡烷相对含量、C₂₇~C₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ 胆甾烷构型、4-甲基甾烷相对含量等参数指标进行精细油源对比(图 4), 结果表明姬塬油田延长组各油层的油源关系较为复杂, 不同油层主力供烃层段不同, 同一油层不同区带的主力供烃层段亦不同^[14], 由此得出如下认识。

(1)长 8 油层组原油主要来源于长 7 段低等水生生物, 长 8 段烃源岩亦有一定贡献。大部分地区以长

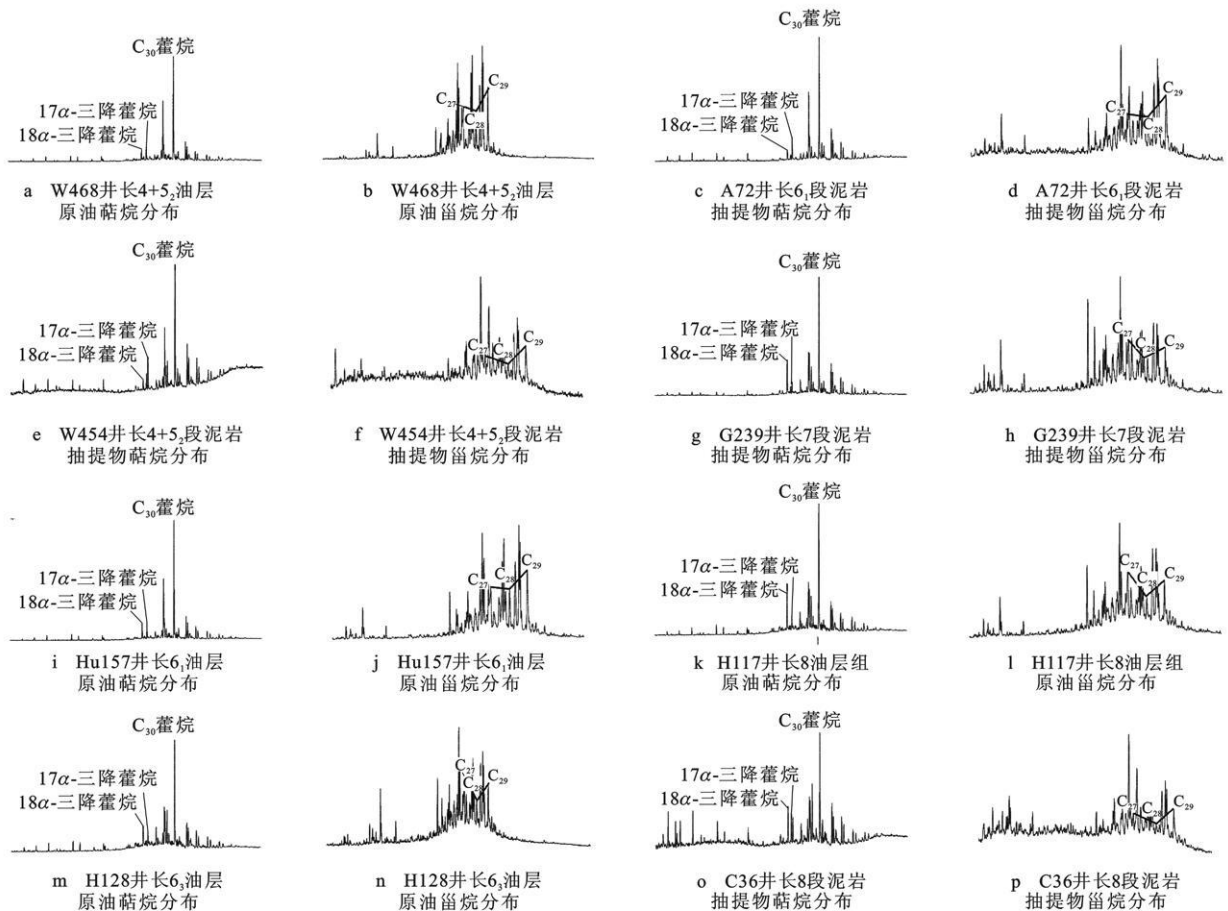


图4 含油层组的油源对比

Fig. 4 Oil Source Correlation of Different Formations

7段烃源岩贡献为主,如沙峽岷和堡子湾地区,少部分地区以长8段有机质贡献为主,如小涧子地区。

(2)长6油层组原油主要来源于长7和长6段烃源岩的贡献,其中长6₃和长6₂油层的原油应以长7段供烃为主,而长6₁油层原油主要以长6段本身供烃为主。

(3)长4+5油层组原油主要以长7段烃源岩贡献为主,以长6段及自身烃源岩贡献为辅。

(4)在局限地区,长6和长4+5油层组原油也可能存在其下部多套生烃有机质的混合供源贡献。

3 结语

(1)姬塬油田延长组各油层以岩性油藏为主,原油富集程度差异大,垂向上呈现叠置发育特征,而平面上分区分块特征明显。

(2)长8油层组地层水及原油物化特征反映的低矿化度开放流体系统、较好的原油物性、较高的原油成熟度和低等水生生物为主的母源贡献等特征,与长6和长4+5油层组存在明显差别,而长6和长4+5油层组在原油性质较为相近的基础上,局部地

区或某些对比参数亦存在一定差异。

(3)长9、长8、长7、长6、长4+5段暗色泥岩均具有一定的生排烃能力,其中以长7段烃源岩各项指标品质为最好,且处于生烃高峰期,生烃潜量巨大;长8段烃源岩品质次之,生烃潜量中等;长6和长4+5段烃源岩品质相近,生烃潜量一般。

(4)长8油层组原油主要来源于长7及长8段烃源岩双重贡献,以长7段为主;长6油层组原油主要来源于长7和长6段烃源岩双重贡献;长4+5油层组原油以长7段烃源岩贡献为主,以长6段和自身烃源岩贡献为辅;局部地区可能存在多套烃源岩混源供油的贡献。

参考文献:

- [1] Yang H, Fu J H, Yu J, et al. Oil/ gas Accumulation Characteristics and Exploration Methods of the Deltaic Lithologic Reservoirs in Northern Shaanxi Area [J]. Petroleum Science, 2004, 1(2): 69-78.
- [2] 赵文智, 胡素云, 汪泽成, 等. 鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 1-5.

(下转第206页)

- [22] Harris S A, Pedersen D E. Thermal Regimes Beneath Coarse Blocky Materials[J]. Permafrost and Periglacial Processes, 1998, 9(2): 107-120.
- [23] 牛富俊, 程国栋, 赖远明. 青藏铁路通风路堤室内模型试验研究[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(3): 1-6.
- [24] 牛富俊, 马 巍, 赖远明. 青藏铁路北麓河试验段通风管路基工程效果初步分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增): 2652-2658.
- [25] Niu F J, Cheng G D, Xia H M, et al. Field Experiment Study on Effects of Duct-ventilated Railway Embankment on Protecting the Underlying Permafrost[J]. Cold Regions Science and Technology, 2006, 45(3): 178-192.
- [26] Lai Y M, Wang Q S, Niu F J, et al. Three-dimensional Nonlinear Analysis for Temperature Characteristic of Ventilated Embankment in Permafrost Regions[J]. Cold Regions Science and Technology, 2004, 38(2/3): 165-184.
- [27] 冯文杰, 李东庆, 马 巍, 等. 不同边界条件对多年冻土上限影响的模型试验研究[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 353-359.
- [28] 俞祁浩, 潘喜才, 程国栋, 等. 多年冻土区路基边坡遮阳板降温过程试验研究[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 299-305.
- [29] 冯文杰, 马 巍, 张鲁新, 等. 遮阳棚在寒区道路工程中的应用研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(5): 567-570.
- [30] Feng W J, Ma W, Li D Q, et al. Application Investigation of Awning to Roadway Engineering on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Cold Regions Science and Technology, 2006, 45(1): 51-58.
- [31] Niu F J, Cheng G D, Xie Q. Study on Instability of Slopes in Permafrost Regions of Qinghai-Tibet High Plateau[C] //Karmensky R M. Proceedings of the 5th International Symposium on Permafrost Engineering. Yakutsk: Permafrost Institute Press SB RAS, 2002: 192-197.
- [32] Niu F J, Xu J, Lin Z J, et al. Engineering Activity Induced Environmental Hazards in Permafrost Regions of Qinghai-Tibet Plateau[C] //Committee of 9th International Conference on Permafrost. Proceedings of 9th International Conference on Permafrost. Fairbanks: University of Alaska Fairbanks, 2008: 1287-1292.
- [33] 林战举, 牛富俊, 许 健. 多年冻土区青藏铁路沿线次生冻融灾害及成因初步分析[J]. 工程地质学报, 2008, 16(增): 666-673.

(上接第 145 页)

- [3] 姚泾利, 王 克, 宋江海, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组石油运聚规律研究[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 32-37.
- [4] 冀伟坦, 侯明才, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油气成藏条件及主控因素研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 686-692.
- [5] 高剑波, 庞雄奇, 王志欣, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组碎屑岩储层低渗特征及含油性主控因素[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2007, 31(1): 5-12.
- [6] 郑荣才, 王海红, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 段沉积相特征和砂体展布[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(3): 21-26.
- [7] 王昌勇, 郑荣才, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统延长组第六段高分辨率层序—岩相古地理[J]. 地质学杂志, 2009, 33(3): 326-332.
- [8] 王昌勇, 郑荣才, 王海红, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 油层组物源区分析[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 933-938.
- [9] 董万平, 罗静兰, 周功才, 等. 镇泾油田长 8 与长 6 油层组产能影响因素分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(2): 166-172.
- [10] 王彩萍. 鄂尔多斯盆地直罗油田长 6 油层组成岩作用及孔隙演化研究[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(2): 161-165.
- [11] 曾联波, 李忠兴, 史成恩, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 174-180.
- [12] 梁晓伟, 韩永林, 王海红, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统延长组裂缝特征及其地质意义[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 49-53.
- [13] 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.
- [14] 史建南, 郑荣才, 韩永林, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 8 油层组岩性油藏成藏机理研究[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(3): 129-133.
- [15] 周进高, 姚根顺, 邓红婴, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 9 油层组勘探潜力分析[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 289-293.
- [16] 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地安塞—富县地区延长组—延安组原油地球化学特征及油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 218-224.
- [17] 侯林慧, 彭平安, 于赤灵, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬—西峰地区原油地球化学特征及油源分析[J]. 地球化学, 2007, 36(5): 497-506.
- [18] 王传远, 段 毅, 车桂美, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学特征及油源分析[J]. 高校地质学报, 2009, 15(3): 380-386.
- [19] 郝 芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地质前缘, 2000, 7(3): 11-21.
- [20] 刘联群, 刘建平, 李 勇, 等. 鄂尔多斯盆地彭阳地区侏罗系延安组油气成藏主控因素分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 263-267.
- [21] 韩永林, 王成玉, 王海红, 等. 姬塬地区长 8 油层组浅水三角洲沉积特征[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1057-1064.
- [22] 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): 557-562.
- [23] 段 毅, 于文修, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地长 9 油层组石油运聚规律研究[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 855-860.