

文章编号: 0253-9985(2011)01-0118-06

鄂尔多斯盆地陇东地区延长组流体动力作用下的石油运移与聚集特征

英亚歌^{1,2}, 王震亮¹, 范昌育¹

(1 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2 新疆龟兹矿业有限公司, 新疆 库车 842000)

摘要: 在压实研究基础上, 利用等效深度法恢复出早白垩世末鄂尔多斯盆地陇东地区延长组最大埋深时期的过剩压力和相应的油势。对过剩压力在纵向上的分布与试油产量的关系研究表明, 距油源区近、过剩压力较小的地区, 试油产量高, 而日产油量与储层物性的相关性较差, 表明过剩压力与石油分布之间的关系更为密切。主成藏期的油势分布表明, 平面上油势相对较低的地区是石油运移、聚集的区域, 并与现今油藏分布基本吻合。研究认为, 在鄂尔多斯盆地陇东地区现今储层低渗的背景下, 主成藏期的流体动力仍是油气运移、聚集的主控因素。

关键词: 等效深度法; 过剩压力; 油势; 流体动力学; 石油运移; 陇东地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Oil migration and accumulation under the influence of fluid dynamics in the Yanchang Formation, eastern Gansu Province, the Ordos Basin

Ying Yage^{1,2}, Wang Zhenliang¹ and Fan Changyu¹

(1 State Key Laboratory for Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2 Xinjiang Qiuqi Mining Co., Ltd., Kuqa Xinjiang 842000 China)

Abstract Based on the study of compaction, overpressure and oil potential at the deepest burial depth in Early Cretaceous were restored for the Yanchang Formation, eastern Gansu Province, Ordos Basin. We carefully examine the relationship between vertical distribution of overpressure and testing production. The results show that the oil flow is relatively higher where it is close to the oil source and has lower overpressure, indicating that a close relationship between overpressure and oil distribution. Distribution of oil potential in the main period of accumulation shows that oil tends to migrate and accumulate at the lower oil potential area which coincides with current oil distribution. From this study, we believe that, under the condition of low permeability of reservoirs, fluid dynamics in the main period of accumulation is the main controlling factor for oil migration and accumulation.

Key words balance depth mean, overpressure, oil potential, fluid dynamics, oil migration, eastern Gansu Province, Ordos Basin

近年来, 致密低渗储层中的石油运移、聚集规律及油水分布规律的研究一直是石油地质学的前沿^[1-3]。

陇东地区位于鄂尔多斯盆地西南部, 构造上属于伊陕斜坡与天环向斜的西南段, 面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 盆地整体上构造不发育, 油藏多属于岩性

油藏; 延长组 6 段—延长组 8 段的油源主要是延长组 7 段湖相泥岩, 延长组 7 段优质油源岩排烃率达 72%, 具备提供优质油气源的能力^[4-5]; 延长组生油岩在中侏罗世进入生油门限, 早白垩世末期达到最大埋深, 为最强烈的生、排烃和成藏期。目前延长组 6 段、8 段储层致密, 非均质性强, 物性

收稿日期: 2010-09-21

第一作者简介: 英亚歌 (1985—), 女, 硕士, 盆地分析与油气藏评价。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (“973”计划) 项目 (2003CB214605)。

较差, 基本属于致密低渗储层^[6-7]。

流体动力是油气运移聚集的动力学框架和背景^[8], 流体动力的分布格局基本上控制了流体的运移规律, 影响着油气的运移、聚集规律^[9-13]。作为表征流体动力的主要参数过剩压力和流体势的分布, 在现今储层致密的背景下, 其在主成藏期的流体动力的分布与石油运移、聚集及分布的关系如何? 笔者在排除了物性与石油分布关系的基础上, 研究了早白垩世末主成藏期流体动力与石油运聚及分布的关系, 这为进一步清楚认识该类储层的石油成藏及分布规律具有一定的借鉴意义。

1 过剩压力特征

通过测井等资料建立声波压实曲线, 利用等效深度法, 计算过剩压力^[14]。由于岩石压实作用的不可逆性, 压实曲线反映了地层处于最大埋深时的压实状态, 计算的过剩压力即为地层最大埋深时期的压力。

1. 1 纵向分布特征

通过对区内 46 口井过剩压力剖面分析表明, 陇东地区过剩压力在纵向上可分为两种分布情况: 第一类是以庆阳-庆城和合水地区、白豹和镇原以北地区过剩压力分布特征为代表(图 1a b)。庆阳-庆城和合水地区过剩压力在三叠纪末期开始出现, 在延长组 7 段达到最大值; 过剩压力从延长组 7 段向上到延长组 6 段、向下到延长组 8 段都变小, 且趋势较明显(图 1a); 而白豹和镇原以北地区过剩压力从延长组 6 段或延长组 7 段开始出现, 并在延长组 7 段达到最大值。过剩压力在延长组 6 段明显小于延长组 7 段, 延长组 8 段也较延长组 7 段变小, 但趋势不明显(图 1b)。第二类是以靠近演武地区的井的过剩压力分布为特征(图 1c), 过剩压力从三叠纪末期开始出现一直呈增大趋势, 在延长组 7 段没有出现过剩压力最大值, 在其可计算范围内, 过剩压力值较其他井区值小, 基本上小于 5 MPa 这也影响着过剩压力平面上的分布。

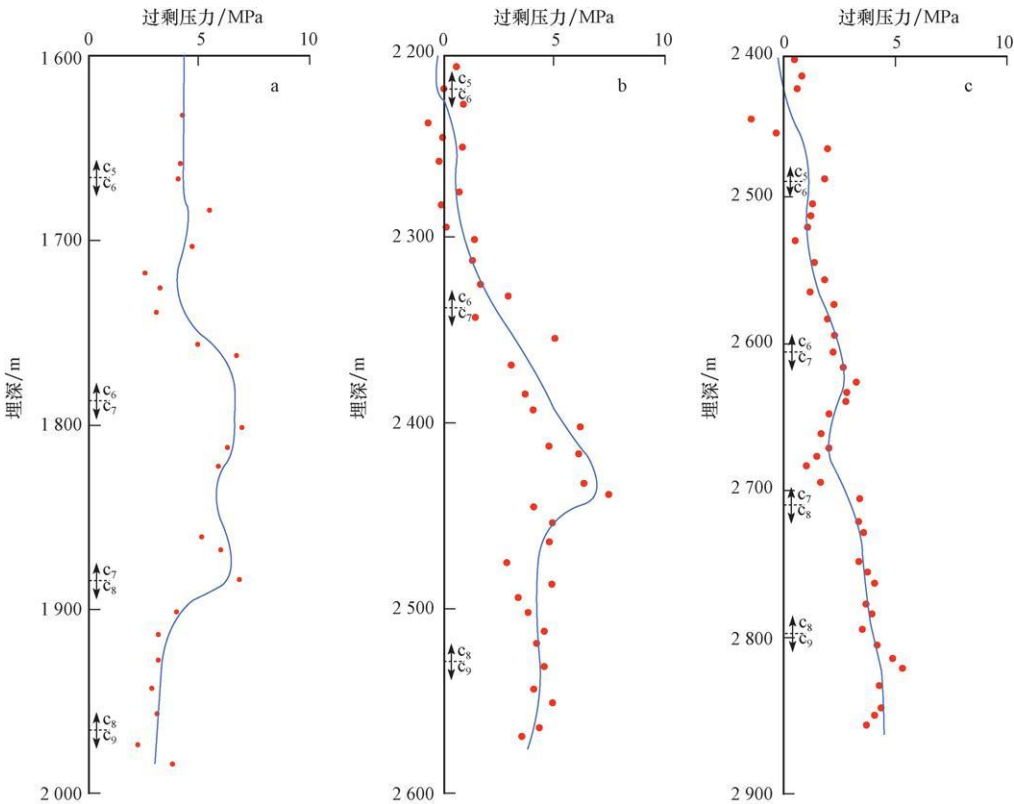


图 1 鄂尔多斯盆地陇东地区早白垩世末期过剩压力纵向分布的 3 种类型

Fig. 1 Three types of vertical overpressure distribution in the late stage of the Early Cretaceous, eastern Gansu Province, the Ordos Basin
(C₅. 延长组 5 段; C₆. 延长组 6 段; C₇. 延长组 7 段; C₈. 延长组 8 段; C₉. 延长组 9 段)

除异常压实外,引起延长组 7 段的异常压力较高的原因还有该段烃源岩在早白垩世末期由富有机质固态干酪根转化为液态烃时引起的增压作用^[15]。

总体而言,延长组 7 段烃源岩过剩压力最大,烃类进入储层之后的运移主要受到储层内流体动力分布情况的影响,本文主要以延长组 8 段为例,讨论流体动力对油气运聚的影响。

1.2 过剩压力分布与试油产量关系

早白垩世末期是延长组的最大埋深时期,也是陇东地区中生代油气运聚的重要时期^[16-19]。在现今储层孔渗较为致密、物性与产油量关系不明显的情况下(图 2),影响产量的因素较多,考虑到油气充注的关键时期过剩压力作用下排油泄压对现今产油量可能有影响。因此,用单井在地层状态下不同深度点对应的不同过剩压力值,作出过剩压力连井剖面进行分析(图 3)。

分析表明,在 A 井处,有两处大于周围其他井的过剩压力高压值区:一个是延长组 7 段内 6~7 MPa 范围内的超压体;另一个是延长组 6 段内过剩压力高值大于 5 MPa。这与单井剖面上的一些井过剩压力从延长组 6 段开始出现相吻合。

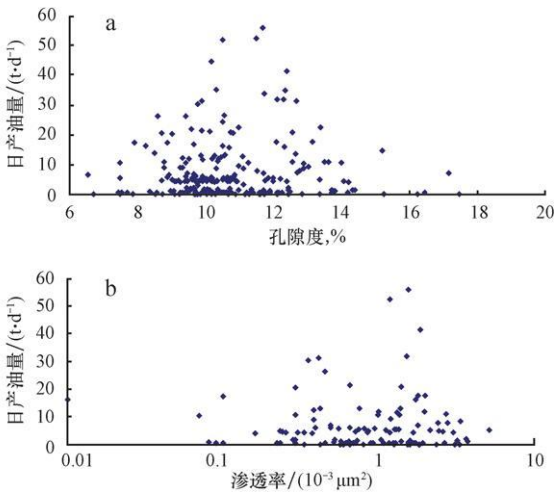


图 2 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组 8 段孔隙度、渗透率与日产油量关系

Fig. 2 Daily oil production vs porosity, permeability in the 8th member of the Yanchang Formation, eastern Gansu Province, the Ordos Basin

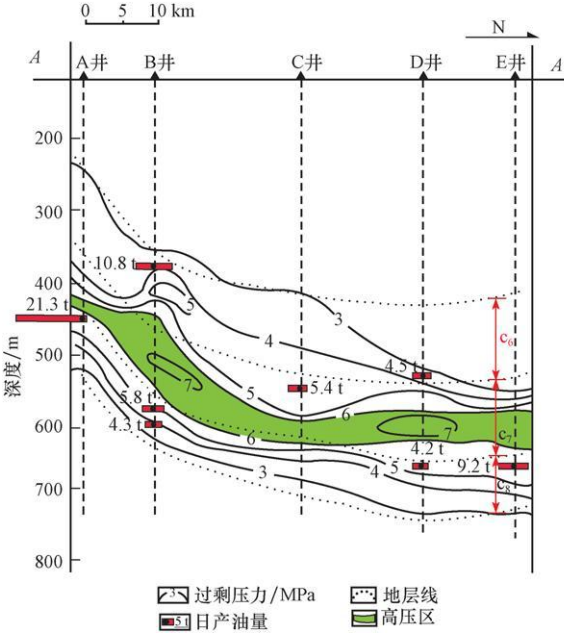


图 3 鄂尔多斯盆地陇东地区早白垩世末期过剩压力剖面 A—A' 及试油产量

Fig. 3 A—A' profile of overpressure and oil testing results in the late stage of the Early Cretaceous, eastern Gansu Province, the Ordos Basin (C₆: 延长组 6 段; C₇: 延长组 7 段; C₈: 延长组 8 段)

从产油量与过剩压力的关系可以看出,在过剩压力值相对较低时,产油量相对较高;但也出现过剩压力相对较高产量也较高的情况,如 A 井延长组 8 段过剩压力在 5~6 MPa 范围内,较同一层位附近的其他井的过剩压力值大,但日产油量较高(21.3 t)。同一口井沿过剩压力降低的方向,距油源区越近,日产油量越高。例如 B 井,延长组 7 段过剩压力最大,向上覆延长组 6 段和向下伏延长组 8 段储层降低,日产油量为 10.8 t 的深度位于延长组 6 段过剩压力值在 3~4 MPa 范围内;日产油量 5.8 t 和 4.3 t 的深度也分别位于延长组 8 段的相对较低值处 4~5 MPa 和 3~4 MPa 范围内。

在烃源岩条件充足的情况下,纵向上过剩压力与试油的日产量有一定的关系:距油源区越近、过剩压力较低时,试油产量相对高,是油气聚集区域。

2 流体势特征

2.1 油势计算

近年来,由于流体势^[20-22]是在过剩压力的基础上考虑了流体密度、相对高程等因素,流体势的

分布反映了流体在它可能占据的地层空间中的受力状况^[23-24]。因此, 研究解释油气运移的过程时, 流体势的运用更广泛。

根据油势的计算公式, 过剩压力在一定程度上影响着空间上油势的分布。但过剩压力往往反映的是泥岩段的值, 在纵向上能很好的反映石油从烃源岩到储层及其在储层中纵向上的运移状况, 本文为了搞清楚空间上油气的运移状态, 故分析古油势的特征。

2.2 油势分布特征

由前可知, 陇东地区延长组在早白垩世末期达到最大埋深, 为最主要的生、排烃和成藏期。延长组 8 段早白垩世末期的油势分布以东北部地区即华池以东以北地区油势最高(图 4), 在 900 m 以上; 向西南部油势基本呈降低趋势, 西部油势最低值在 700 m 以下。其中在庆阳南部地区, 其周围油势为 800 m 范围内的情况下, 出现油势次高势区域。

这与过剩压力在演武—桐川—庆阳线出现次异常高压带吻合, 在演武附近的较高过剩压力值, 考虑了流体密度、相对高程的情况下计算的流体势, 使次高势带的存在有所减弱。

3 石油运聚特征

在延长组 8 段油势分布的基础上, 叠合延长组 7 段优质烃源岩的分布^[1]和现今油藏分布(据长庆油田, 2008), 可知延长组 8 段储层中石油是原地烃源岩供油和石油侧向运移的结果。

首先, 根据沿势梯度的负方向运移动力最充足、运移能力最强的原理推测^[25], 烃类优质生油岩层在过剩压力作用下大量进入延长组 8 段储层中之后, 将会沿着油势降低的方向, 基本上呈东北部向西南方向运移、聚集(图 4 中黑色箭头的方向)。主要运聚的区域是 C 井区附近、X238 井区附近、庆城地区、合水地区、Z271—Z255 井区、庆阳地区,

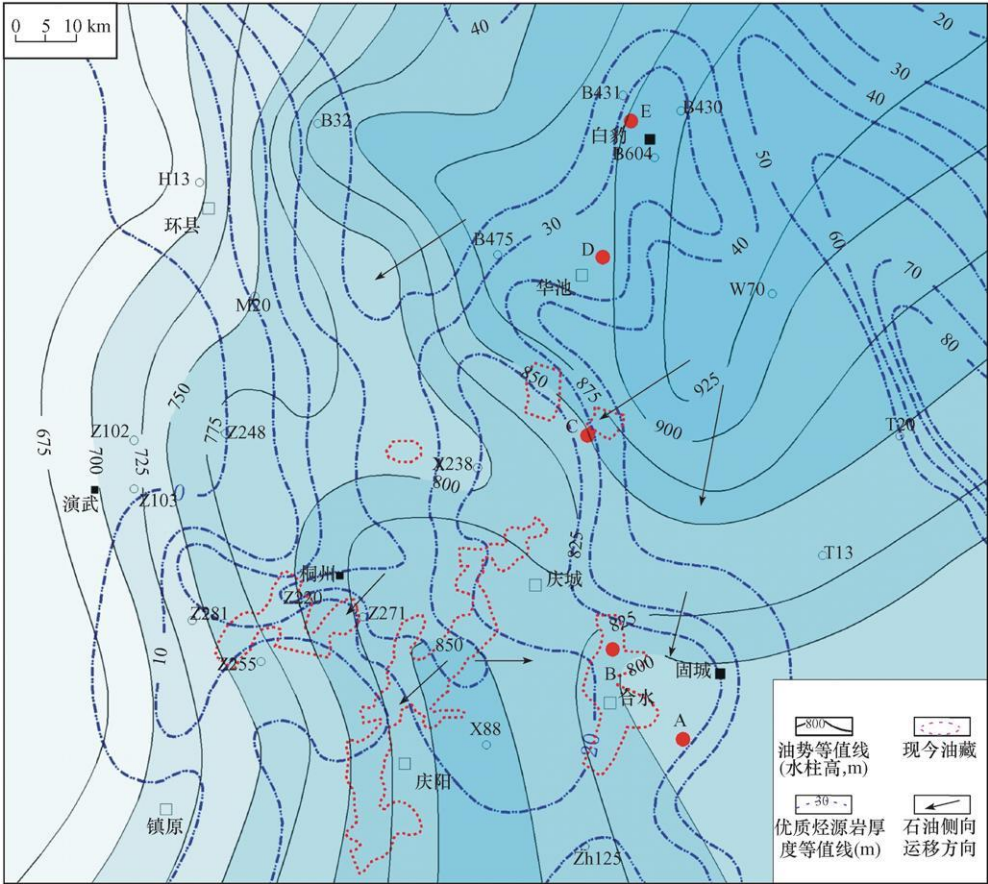


图 4 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组 8 段早白垩世末期油势分布、优质烃源岩厚度与现今油藏范围叠合图
Fig. 4 Distribution of oil potential and thickness of high-quality source rocks in the late stage of the Early Cretaceous coincides with current oil distribution in eastern Gansu Province, the Ordos Basin

与现今油藏的分布相吻合。

其次,在 X88-N17 井区之间的次高势带范围内,庆阳-庆城地区有现今油藏,不符合石油在油势作用下向低势区运移的侧向运移趋势。这个地区长 7 段优质烃源岩厚度在 30~40 m 范围内,且纵向上过剩压力由延长组 7 段向延长组 8 段降低的趋势较明显(图 1a),此区域为石油由烃源岩直接向储层运移、原地成藏的结果。

4 结论

1) 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组致密储层主成藏期的过剩压力纵向分布与现今石油分布的关系为:距油源区越近、过剩压力越小,试油产量越高,为石油聚集区域。本区油势分布东北高,西南低,有利于石油从东北部向西南部运移。

2) 庆阳-庆城地区油藏是在过剩压力作用下油气从延长组 7 段烃源岩中向下运移到延长组 8 段,原地成藏的结果;而石油侧向运移成藏的有利区域在合水、X259 井区、Z271-Z255 井区、X238 井区及环县以南地区。

3) 现今致密储层中,成藏主要时期的流体动力是石油运移、聚集的主控因素。

参 考 文 献

- [1] 周文,苏复义,戴建文.鄂尔多斯盆地曙光地区延长组低丰度油藏成藏机理[J].石油与天然气地质,2009,30(3): 330-336.
Zhou Wen, Su Fuyi, Dai Jianwen. Accumulation mechanism of low-abundance oil reservoirs in the Yanchang Formation of Shuguang oilfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 330-336.
- [2] 李明诚,李剑.“动力圈闭”低渗透致密储层中油气充注成藏的主要作用[J].石油学报,2010,31(5): 718-722.
Li Mingcheng, Li Jian. “Dynamic trap”—a main action of hydrocarbon charging to form accumulations in low permeability tight reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(5): 718-722.
- [3] 李元昊,刘建平,梁艳,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组低渗透岩性油藏成藏物理模拟[J].石油与天然气地质,2009,30(6): 706-712.
Li Yuanhao, Liu Jianping, Liang Yan, et al. Physical simulation of hydrocarbon accumulation in low permeability lithologic reservoirs: an example from the Yanchang Formation in the Upper Triassic of the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 706-712.
- [4] 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.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil gas accumulation—hydrocarbon generation and expulsion mechanism[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 289-293.
- [5] 姚素平,张科,胡文瑄,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积有机相[J].石油与天然气地质,2009,30(1): 74-84.
Yao Suping, Zhang Ke, Hu Wenxuan, et al. Sedimentary organic facies of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 74-84.
- [6] 罗静兰,刘小洪,林潼,等.成岩作用与油气侵位对鄂尔多斯盆地延长组砂岩储层物性的影响[J].地质学报,2006,80(5): 664-673.
Luo Jinglan, Liu Xiaohong, Lin Tong, et al. Impact of diagenesis and hydrocarbon emplacement on sandstone reservoir quality of the Yanchang Formation (Upper Triassic) in the Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 664-673.
- [7] 邓秀芹,刘新社,李士祥.鄂尔多斯盆地三叠系延长组超低渗透储层致密史与油藏成藏史[J].石油与天然气地质,2009,30(2): 156-161.
Deng Xiuping, Liu Xinshe, Li Shixiang. The relationship between compacting history and hydrocarbon accumulating history of the super-low permeability reservoirs in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 156-161.
- [8] 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,2002,7(3): 11-22.
Hao Fang, Zou Huayao, Jiang Jianqun. Dynamics of petroleum accumulation and its advances[J]. Earth Science Frontiers, 2002(3): 11-22.
- [9] 王震亮.改造型盆地流体动力学的发育特点[J].石油与天然气地质,2000,21(1): 24-27.
Wang Zhenliang. Comparison of thermal evolution history in sedimentary basins North China[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 24-27.
- [10] 王震亮.库车坳陷古流体动力与天然气成藏特征分析[J].石油与天然气地质,2007,28(6): 809-815.
Wang Zhenliang. Analysis on paleohydrodynamic force and gas accumulation characteristics in the Kuqa Depression, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 809-815.
- [11] 王晓梅,王震亮.鄂尔多斯盆地中部中生界地下水动力系统[J].石油与天然气地质,2008,29(4): 479-484,501.
Wang Xiaomei, Wang Zhenliang. Analysis on groundwater hydrodynamic systems of the Mesozoic in the central Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 479-484, 501.
- [12] 王震亮,李耀华,张健.川西地区上三叠统异常流体压力的主要形成机制[J].石油与天然气地质,2007,28(1): 43-50.
Wang Zhenliang, Li Yaohua, Zhang Jian. Analysis on main formation mechanisms of abnormal fluid pressure in the Upper Triassic

ssic West Sichuan area[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1): 43– 50

[13] 解习农, 刘晓峰, 赵士宝, 等. 异常压力环境下流体活动及其油气运移主通道分析[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(5): 589– 595

Xie Xinong Liu Xiaofeng Zhao Shibao et al Fluid flow and hydrocarbon migration pathways in abnormally pressured environments[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences 2004, 29(5): 589– 595

[14] 陈荷立. 油气运移研究的有效途径[J]. 石油与天然气地质, 1995 16(2): 123– 131

Chen Heli An efficient approach to hydrocarbon migration researches[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 123– 131

[15] 刘新社, 席胜利, 黄道军, 等. 鄂尔多斯盆地中生界石油二次运移动力条件[J]. 石油勘探与开发, 2008 35(2): 143– 147.

Liu Xinshe Xi Shengli Huang Daojun et al Dynamic conditions of Mesozoic petroleum secondary migration, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development 2008 35(2): 143– 147.

[16] 武明辉, 张刘平, 罗晓容, 等. 西峰油田延长组长 8 段储层流体作用期次分析[J]. 石油与天然气地质, 2006 27(1): 33– 36

Wu Minghui Zhang Liuping Luo Xiaorong et al Analysis of hydrocarbon migration stages in the 8th member of Yanchang Formation Xifeng oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2006 27(1): 33– 36

[17] Zhao Mengwei Behr H J Ahrendt H. Thermal and tectonic history of the Ordos Basin, China: evidence apatite fission track analysis vitrinite reflectance and K-Ar dating [J]. AAPG Bulletin 1996, 80(7): 1110– 1134

[18] 赵孟为, Behr H J 鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率与地热史[J]. 石油学报, 1996 17(2): 15– 23.

Zhao Mengwei Behr H J Vitrinite reflectance in Triassic with relation to geothermal history of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica 1996 17(2): 15– 23.

[19] 任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J]. 地球物理学报, 1995, 38(3): 339– 349

Ren Zhanli Thermal history of the Ordos Basin assessed by apatite fission track analysis[J]. Acta Geophysica Sinica 1995 38(3): 339– 349

[20] Lerche I Basin Analysis Quantitative Methods[M]. Academic Press Inc, 1990

[21] Wells D H, Horsfield B Baker D R. Petroleum and basin evolution [M]. Germany Springer 1997.

[22] Wang C, Xie X. Hydrofracturing and episodic fluid flow in shale-rich basins: a numerical study [J]. AAPG Bulletin 1998 82(10): 1857– 1869

[23] 杨占龙, 陈启林, 郭精义, 等. 流体势分析技术在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 623– 627

Yang Zhanlong Chen Qilin Guo Jingyi et al Fluid potential analysis and application in lithostratigraphic reservoir exploration[J]. Petroleum Geology & Experiment 2007 29(6): 623– 627

[24] 王震亮, 耿鹏. 准噶尔盆地侏罗系古流体动力与天然气运移、聚集分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2002, 32(5): 531– 536

Wang Zhenliang Geng Peng Ancient dynamics of fluid and gas migration and accumulation in Jurassic Systems Jungar Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2002, 32(5): 531– 536

[25] 王震亮, 刘林玉, 于铁星, 等. 松辽盆地南部腰台地区青山口组油气运移、成藏机理[J]. 地质学报, 2007 81(3): 419– 427

Wang Zhenliang Liu Linyu, Yu Yixing et al The mechanisms on hydrocarbon migration and accumulation in Qingshankou Formation from Yaoyingtai Area, Southern Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica 2007, 81(3): 419– 427

(编辑 张亚雄)

(上接第 117 页)

[13] 王春修, 张群英. 珠三坳陷典型油气藏及成藏条件分析[J]. 中国海上油气, 1999 13(4): 248– 254

Wang Chunxiu, Zhang Qunying Typical oil and gas reservoirs and their forming conditions in Zhu III depression[J]. China Offshore Oil and Gas 1999 13(4): 248– 254.

[14] Hinkle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model[J]. AAPG Bulletin 1997, 81(9): 1451– 1481.

[15] 黄保家, 李俊良, 李里, 等. 文昌 A 凹陷油气成藏特征与分布规律探讨[J]. 中国海上油气, 2007 19(6): 361– 366

Huang Baojia Li Junliang Li Li et al A discussion on the hydrocarbon accumulation characteristics and distribution in Wenchang A sag[J]. China Offshore Oil and Gas 2007 19(6): 361– 366

[16] 姜华, 王华, 肖军, 等. 珠江口盆地珠三坳陷构造反转与油气聚集[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 372– 377.

Jiang Hua Wang Hua Xiao Jun et al Tectonic inversion and its relationship with hydrocarbon accumulation in Zhu III depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica 2008 29(3): 372– 377.

(编辑 李 军)