

# 镇泾地区延长组流体过剩压力分布特征及其与油气成藏的关系

梁吉学<sup>1,2</sup>, 常象春<sup>1,2\*</sup>, 尹伟<sup>3</sup>

(1. 山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛 266590; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 镇泾地区中生界延长组油气聚集层位岩性油藏发育, 为了揭示低渗透油藏成藏特征及油气运移和聚集规律, 选取镇泾地区长7和长8油层组为主要研究对象, 利用测井声波资料分析延长组泥岩压实特征与流体过剩压力分布特征。结果表明, 研究区长7油层组过剩压力主要为8~13 MPa, 长8油层组过剩压力相对较低, 只有极少区域达到10 MPa, 长7油层组烃源岩具有远远大于长8油层组的过剩压力分布, 该过剩压力差是长7油层组油气运移到长8油层组储层的主要驱动力。相邻层位过剩压力差高值区是原油的高产富集区, 而同层位过剩压力差相对低值区也是油气运聚的有利区。推测研究区东北部过剩压力差高值区和东南部大范围的过剩压力差低值区为有利油气富集区。

**关键词:** 流体过剩压力 欠压实 油气运移 延长组 镇泾地区

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2017)04-0055-06

## Distribution characteristics of fluid overpressure and their relationship with hydrocarbon accumulation in the Yanchang Formation of Zhenjing area

Liang Jixue<sup>1,2</sup>, Chang Xiangchun<sup>1,2</sup>, Yin Wei<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Mineral, Shandong University of Science and Technology, Qingdao City, Shandong Province, 266590, China; 2. Evaluation and Detection Technology Laboratory of Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao City, Shandong Province, 266071, China; 3. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing City, 100083, China)

**Abstract:** Lithologic reservoir developed well in Mesozoic Yanchang Formation of hydrocarbon accumulation area of Zhenjing area. In order to reveal the characteristics of low permeability reservoir formation and laws of hydrocarbon migration and accumulation in Zhenjing area, Chang7 and Chang8 members in Zhenjing area were selected as study targets to analyze the characteristics of clay compaction and fluid overpressure distribution in the Yanchang Formation. The results showed that the fluid overpressure of Chang7 member ranges from 8 MPa to 13 MPa, and the fluid overpressure of Chang8 member is lower and can reach to 10 MPa only in several areas. There are obvious differences in fluid overpressure between Chang7 and Chang8 members. The high overpressure difference offers the driving forces for oil and gas migrating from Chang7

收稿日期: 2017-03-30。

作者简介: 梁吉学(1990—), 男, 山东泰安人, 在读硕士研究生, 从事非常规油气地质方面的研究。联系电话: 13256876357, E-mail: moun-tliang@163.com。

\*通讯作者: 常象春(1974—), 男, 陕西绥德人, 教授, 博导。联系电话: (0532)80691766, E-mail: xcchang@sina.com。

基金项目: 国家自然科学基金“C5-C13轻烃地球化学新参数的建立及其油气地质应用探索”(41272139), 山东省自然科学基金项目“油藏地球化学”(JQ201311)。

member to Chang8 member. High oil production zones are areas where high overpressure difference exists between the two members and areas with relatively low overpressure difference are favorable for hydrocarbon migration and accumulation. The northeast and the southeast regions of the study area, which respectively have high overpressure difference and large-scale low overpressure difference, are expected to be oil and gas enrichment zones.

**Key words:** fluid overpressure; undercompaction; oil and gas migration; Yanchang Formation; Zhenjing area

镇泾地区位于鄂尔多斯盆地西南部,构造上属于天环向斜南段。镇泾地区长8油层组油气资源丰富,近年来勘探开发不断取得新进展,该区整体上构造不发育,延长组分流河道砂体与暗色泥岩叠置,主要发育岩性油气藏<sup>[1]</sup>。油源对比分析发现,长7油层组湖相泥岩为该区主要油气来源,其生烃能力强,具备提供优质油气来源的能力<sup>[2-3]</sup>。分析油气运移动力是研究油气运聚成藏的有效方式<sup>[4]</sup>,鄂尔多斯盆地中生界延长组普遍存在异常流体压力,压力特征与油气成藏关系密切<sup>[5]</sup>。

镇泾地区中生界油藏为典型的致密超低渗透油气藏<sup>[6]</sup>,油气成藏动力及二次运移动力对油气的运聚成藏有重要影响。近年来的研究表明,鄂尔多斯盆地构造稳定,延长组油气运移动力主要为浮力和异常压力<sup>[7]</sup>,镇泾地区延长组异常压力明显,最高过剩压力出现在长7与长8油层组之间,油气在异常压力驱动下主要沿裂缝和不整合面运移,但对油气成藏过程中流体运移动力尚未进行系统研究<sup>[8-11]</sup>。笔者对研究区30余口井泥岩压实情况进行了详细分析,在定量计算地层流体过剩压力的基础上,分析异常压力分布与油气运移的关系,揭示研究区延长组油气有利富集区。

## 1 过剩压力的形成

压实是指碎屑颗粒在外力作用下紧密聚集的现象,其结果将会导致流体的运移<sup>[12]</sup>。正常压实情况下,随着上覆负荷的增加,孔隙空间不断缩小,泥岩中的流体可正常排出;而当沉积速率过快,上覆负荷快速增加时,泥岩中的流体无法随压实快速排出,孔隙流体承担了部分上覆负荷的重量,从而出现欠压实带。此时流体压力高于同深度静水压力,即为流体过剩压力。

研究区下部地层广泛发育欠压实泥岩层,早白垩世以前地层埋深较浅且经历了多次构造抬升,地层压力维持静水压力,早白垩世地层快速埋深,地层中普遍存在欠压实<sup>[8]</sup>,发育直罗组泥岩欠压实带及延长组泥岩欠压实带<sup>[5]</sup>,这2套欠压实带的存在

形成了镇泾地区典型的成藏组合;上部泥岩的欠压实带作为压力封堵面构成一套成藏组合,油藏主要分布在长6、长4+5油层组及延安组延9、延10油层组;下部长7泥岩欠压实带构成长8和长9油层组成藏系统,长7烃源岩层不仅是下部油层的压力封堵面,还是油气运移到各油层组成藏的动力来源区。

## 2 过剩压力的计算

通过分析研究区泥岩压实特征,采用应用最为广泛和成熟的平衡深度法计算流体异常压力<sup>[13]</sup>。该方法的应用机理是依靠泥岩压实具有不可逆性,计算出的流体异常压力是地层处在最大埋深时期的地层压力。具体在计算过剩压力时,首先按照要求读取单井剖面上泥岩声波时差,在声波时差—深度剖面上恢复沉积连续的泥岩压实曲线,选取正常压实段并回归得出该井泥岩正常压实曲线数学表达式,据此求取任意异常压实点对应的平衡深度,采用 Magara 提出的公式<sup>[14]</sup>计算流体异常压力,流体过剩压力即为流体异常压力减去该点静水压力。

为了准确求取符合实际情况的平衡深度,必须选择声波时差稳定、符合实际地质情况的正常压实曲线。通过恢复研究区多口井的正常压实曲线(图1中AB段),最终回归得到镇泾地区正常压实曲线方程(图1)。依据此方法选取研究区资料齐全、测井质量高的30余口井进行了正常压实曲线拟合,计算全区流体异常压力。

镇泾地区在早白垩世地层抬升,此后地层剥蚀严重,最大剥蚀量达到1 000 m,而新生代地层沉积厚度小于之前的剥蚀厚度<sup>[15-17]</sup>,这使得延长组最大埋深期处在早白垩世构造抬升剥蚀开始之前,与现今的埋深相比要高一些。因此,为了计算流体过剩压力首先要恢复地层最大埋深<sup>[17]</sup>,其最大埋深时期的地层厚度为白垩世剥蚀厚度减去新生代沉积厚度加上现今地层厚度。通过此方法选取资料完整、有录井取心段的油井进行流体过剩压力计算,所获得流体过剩压力为白垩纪末各泥岩地层流体过剩压力。

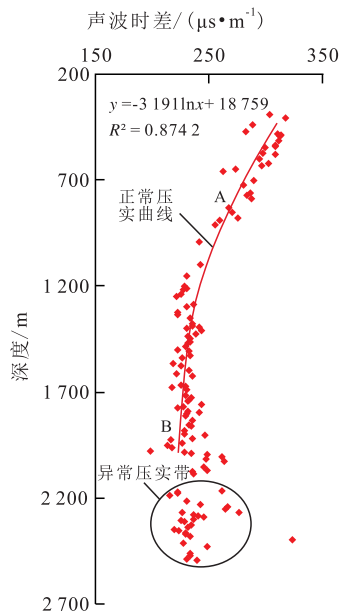


图1 镇泾地区红河71井泥岩压实曲线  
Fig.1 Compaction curve of mudstone in Well Honghe71 of Zhenjing area

### 3 过剩压力分布特征

鄂尔多斯盆地延长组在早白垩世末期达到最大埋深<sup>[16]</sup>, 烃源岩层由于埋深大, 地温梯度高, 中生

代成为最强生烃时期。由于钻井资料的限制, 缺少长9以下油层组; 三叠纪末镇泾地区遭受强烈的剥蚀作用<sup>[18]</sup>, 使得研究区内长1—长3油层组缺失。研究过程中, 共采集到超过30余口资料齐全、有代表性油井的声波时差资料, 计算的主要层位集中在长4+5到长8油层组, 从单井、平面和剖面分析研究区流体过剩压力的分布特征。

#### 3.1 单井分布特征

镇泾地区泥岩层存在明显的欠压实现象, 直罗组开始出现声波时差异常并且幅度很大, 延长组由于纯泥岩厚度薄, 声波时差变化与直罗组相比幅度略小<sup>[5]</sup>。从镇泾地区延长组单井流体过剩压力分布特征(图2)可以看出, 研究区延长组长4+5油层组开始出现流体过剩压力, 但幅度不大, 各井之间差异大, 但均未超过6 MPa; 长6油层组流体过剩压力开始增加但增加幅度不明显, 各井最大过剩压力出现在长7油层组底部烃源岩段, 压力最高值达到17 MPa, 长8油层组也呈现出一定的过剩压力, 说明该区主力烃源岩层存在非均衡压实, 同时也说明泥岩发育较分散, 油层分布不稳定。总体来说, 研究区过剩压力在长7油层组达到最大, 向上、向下过剩压力均变小, 长7与长6和长8油层组间的高过剩压力差是油气纵向运移的重要动力来源<sup>[10]</sup>。

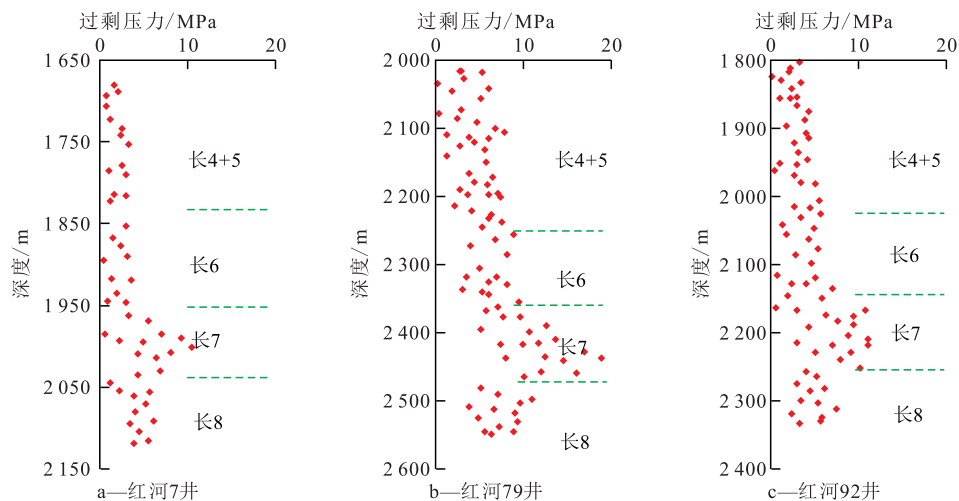


图2 镇泾地区延长组单井过剩压力分布特征

Fig.2 Distribution characteristics of overpressure in the Yanchang Formation of Zhenjing area

#### 3.2 平面分布特征

依据计算的研究区各单井流体过剩压力资料, 绘制了长7和长8油层组过剩压力平面分布(图3)。研究区长7油层组过剩压力普遍较高(图3a), 过剩压力为8~13 MPa, 过剩压力的分布整体呈现出东南部高西北部低的特点, 研究区过剩压力高值区集中分布在南部红河25井、红河47井; 中部红河

100井、红河264井及东北部红河79井附近, 过剩压力最高点甚至达到16 MPa; 长8油层组过剩压力相对较低, 主要为4~9 MPa(图3b), 研究区中部红河142井、红河105井及南部红河126井附近过剩压力相对较大, 普遍都在8 MPa以上。研究区长8油层组过剩压力高值分布区与长7油层组有一定的相关性, 过剩压力可以在各层位间沿裂缝等传递到高渗

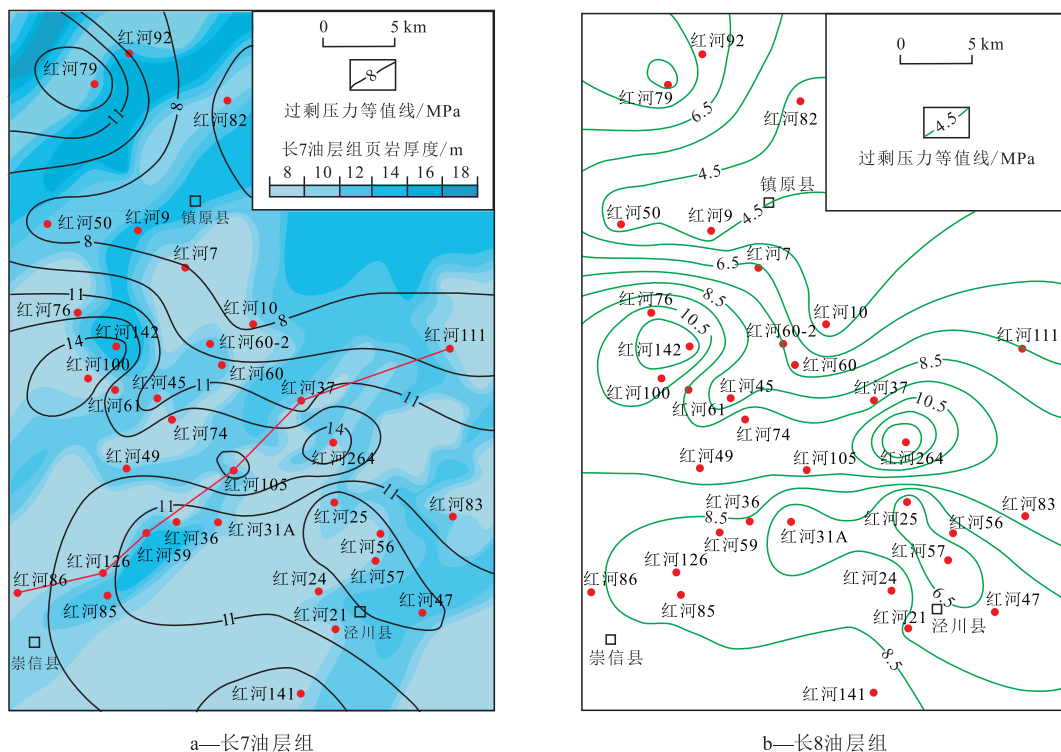


图3 镇泾地区长7和长8油层组过剩压力平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of overpressure in Chang7 and Chang8 members of Zhenjing area

透率层位。通常认为沉积厚度大、有机碳含量高、压实速率快、流体排出受阻的泥岩层具有较高的流体过剩压力。镇泾地区过剩压力分布不均的主要原因可能与泥岩段的分布特征和性质有关,研究区过剩压力的分布与该区河流相沉积中心基本一致。

### 3.3 剖面分布特征

为了更好地反映不同层位过剩压力分布特征的差异,选取了研究区具有代表性的一条剖面(剖面各井位置见图3a)。剖面上(图4),从长6到长8油层组过剩压力分布特征的差异更加明显,红河86井至红河111井,长6油层组过剩压力不明显;长7

油层组过剩压力最明显,均在10 MPa以上,最大过剩压力集中在长7油层组底部“张家滩”页岩层段,其底部过剩压力高值区横向延伸不明显,剖面各井间过剩压力值降低快,沿地层迅速尖灭;长8油层组过剩压力总体变小,最大值不超过10 MPa。从剖面上分析,长7油层组具有比长6和长8油层组高得多的过剩压力,这使油气在过剩压力的驱动下可以向下克服阻力进入长8油层组。勘探试油结果显示,长8油层组含有丰富的油气储量,总体来说油气能够进入长8油层组得益于长7油层组发育良好的烃源岩,二者之间存在的较大过剩压力差作为驱动

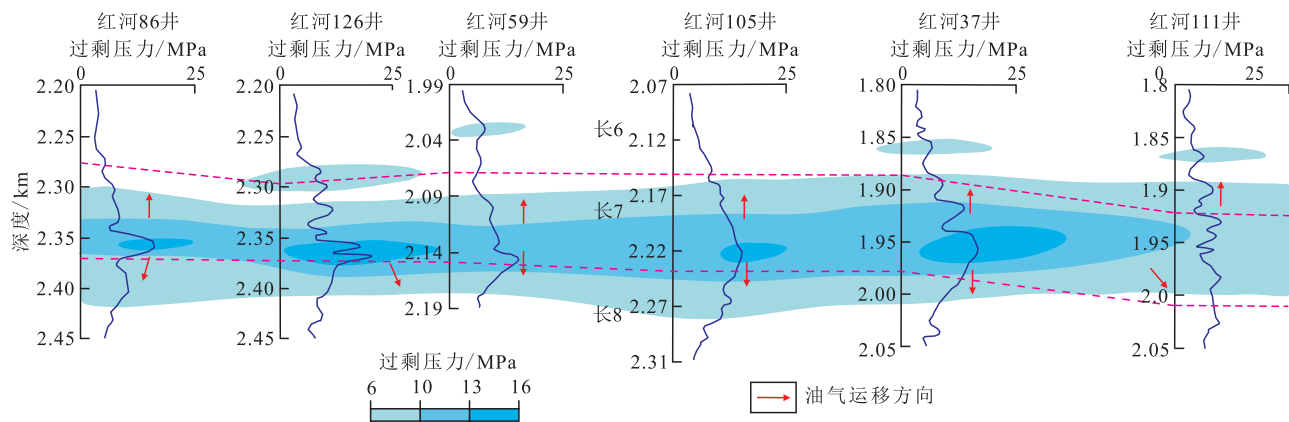


图4 镇泾地区长6—长8油层组过剩压力剖面分布(剖面位置见图3a)

Fig.4 Profile of fluid overpressure distribution in Chang6-8 members of Zhenjing area (the location of the profile is shown in Fig.3a)

力,这也说明可用过剩压力特征来分析油气运移。

#### 4 过剩压力分布与油气成藏的关系

为了了解镇泾地区油气藏分布与过剩压力之间的关系,绘制了长7与长8油层组过剩压力差分布(图5),并且与研究区已开采的油气高产区分布进行对比。结果表明,长7与长8油层组之间存在较高的过剩压力差,其值普遍高于4 MPa,这表明研究区长7油层组油气向其下长8油层组低渗透储层运移的主要驱动力是两者之间的过剩压力差。运移的主要驱动力是各油层组之间的过剩压力已得到大部分学者的认可,而油气运聚成藏有利区的位置尚存在争议<sup>[19-22]</sup>。从图5可以看出,过剩压力差高值分布区是油气的高产富集区,而过剩压力差相对低值区也是油气运聚的有利区域,表明在高过剩压力差作用下,长7油层组油气向下运移至其附近的长8油层组储层聚集成藏,为近源成藏。然而在储层物性好、裂缝等运移通道发育的地区,油气亦可以在高过剩压力驱动下沿长7油层组发生横向运移。油气首先聚集在过剩压力相对低值区,再经过过剩压力差的驱动从长7油层组烃源岩层运移到长8油层组聚集成藏,或直接在过剩压力驱动下横

向运移到长8油层组相对低过剩压力区形成油气藏。

镇泾地区红河油田目前已开采的油气高产区主要沿水下分流河道分布,结合过剩压力差高值区和相邻层位过剩压力相对低值区分布关系(图5),推测研究区油气富集区为东北部过剩压力差高值区和东南部大范围的过剩压力差低值区,泥岩欠压实产生的过剩压力与油气的运移和聚集成藏关系密切,油气高产区分布受过剩压力分布的影响,综合分析各井的过剩压力及各油层组过剩压力差平面分布特征可以识别油气藏高产分布区。

#### 5 结论

镇泾地区长7油层组过剩压力最高达到8~13 MPa,普遍高于10 MPa;长8油层组过剩压力较低,主要为4~8 MPa。在高过剩压力差作用下,长7油层组原油向下运移至其附近的长8油层组聚集成藏,为近源成藏。过剩压力驱动油气在延长组各油层组之间发生同层位及相邻层位的横向和纵向运移,相邻层位过剩压力差高值区是原油的高产富集区,而同层位过剩压力差相对低值区也是油气运聚的有利区。据此推测研究区东北部过剩压力差高值区和东南部大范围的过剩压力差低值区为有利油气富集区。

#### 参考文献:

- [1] 尹伟,胡宗全,李松,等.鄂尔多斯盆地南部镇泾地区典型油藏动态解剖及成藏过程恢复[J].石油实验地质,2011,33(6):592-596.  
Yin Wei, Hu Zongquan, Li Song, et al. Dynamic analysis and accumulation process recovery of typical reservoirs in Zhenjing region, south of Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6):592-596.
- [2] 邓南涛,张枝焕,王付斌,等.鄂尔多斯盆地南部镇泾地区中生界原油地球化学特征及油源分析[J].天然气地球科学,2013,24(3):604-611.  
Deng Nantao, Zhang Zhihuan, Wang Fubin, et al. Geochemical characteristics and oil-source correlation of crude oils in the Zhenjing area, Southern Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3):604-611.
- [3] 赵阳,姚泾利,段毅,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组油源分析[J].沉积学报,2015,33(5):1 023-1 032.  
Zhao Yang, Yao Jingli, Duan Yi, et al. Oil-source analysis for Chang-9 subsection (Upper Triassic) of eastern Gansu province in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, 33(5): 1 023-1 032.

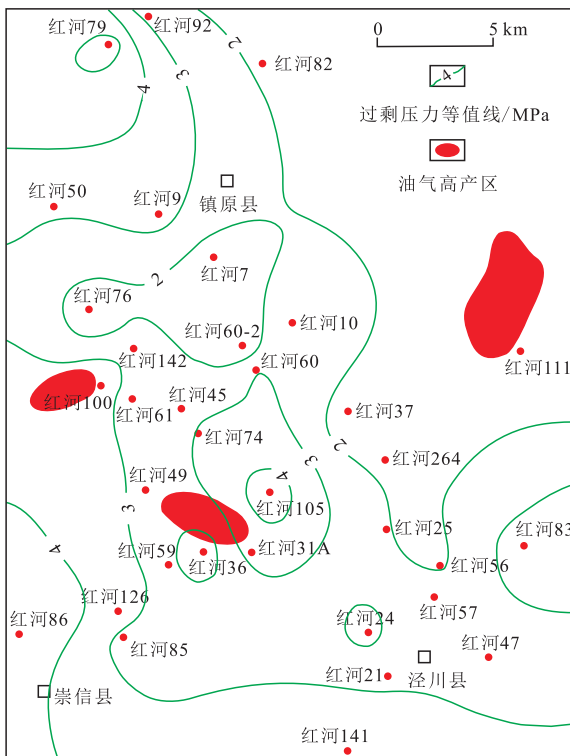


图5 镇泾地区长7和长8油层组过剩压力差与油气分布

Fig.5 Relationship between overpressure difference and hydrocarbon distribution in Chang7 and Chang8 members of Zhenjing area

- [4] 庞雄奇,金之钧,左胜杰.油气藏动力学成因模式与分类[J].地质学前沿,2000,7(4):507-514.  
Pang Xiongqi, Jin Zhijun, Zuo Shengjie. Dynamics, models and classification of hydrocarbon accumulations [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 507-514.
- [5] 吴永平,王允诚,李仲东,等.镇泾地区地层异常压力与油气运聚关系[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(1):47-50.  
Wu Yongping, Wang Yuncheng, Li Zhongdong, et al. The relation between abnormal pressure and oil migration in Zhenjing region [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(1): 47-50.
- [6] 王香增,任来义,贺永红,等.鄂尔多斯盆地致密油的定义[J].油气地质与采收率,2016,23(1):1-7.  
Wang Xiangzeng, Ren Laiyi, He Yonghong, et al. Definition of tight oil in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(1): 1-7.
- [7] 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.
- [8] 徐梦龙,何治亮,尹伟,等.鄂尔多斯盆地镇泾地区延长组8段致密砂岩储层特征及主控因素[J].石油与天然气地质,2015,36(2):240-247.  
Xu Menglong, He Zhiliang, Yin Wei, et al. Characteristics and main controlling factors of tight sandstone reservoirs in the 8th member of the Yanchang Formation in Zhenjing area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 240-247.
- [9] 肖承钰,尹伟,张颖,等.鄂尔多斯镇泾地区延长组成藏体系与油气富集模式[J].石油实验地质,2015,37(3):347-353.  
Xiao Chengyu, Yin Wei, Zhang Ying, et al. Petroleum accumulation systems and oil enrichment patterns of Yanchang Formation in Zhenjing area, southern Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(3): 347-353.
- [10] 丁晓琪,张哨楠,易超,等.鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界油气二次运移动力研究[J].天然气地球科学,2011,22(1):66-72.  
Ding Xiaoqi, Zhang Shaonan, Yi Chao, et al. Dynamic of Mesozoic hydrocarbon secondary migration in Zhenjing oil field, southwestern Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(1): 66-72.
- [11] 吴保祥,段毅,郑朝阳,等.鄂尔多斯盆地古峰庄—王洼子地区长9油层组流体过剩压力与油气运移研究[J].地质学报,2008,82(6):844-849.  
Wu Baoxiang, Duan Yi, Zheng Zhaoyang, et al. Fluid overpressure and migration of oil and gas from Chang9 member in Gufengzhuang-Wangwazi area, Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 844-849.
- [12] 姚泾利,徐丽,邢蓝田,等.鄂尔多斯盆地延长组长7和长8油层组流体过剩压力特征与油气运移研究[J].天然气地球科学,2015,26(12):2219-2226.  
Yao Jingli, Xu Li, Xing Lantian, et al. Fluid overpressure and oil migration in Chang7 and Chang8 subsections of Yanchang Formation in Ordos Basin, China [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(12): 2219-2226.
- [13] 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):126-131.  
Chen Heli. An efficient approach to hydrocarbon migration researches [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 126-131.
- [14] Magara K. Compaction and migration of fluid in Miocene mudstone, Nagaoka Plain, Japan [J]. AAPG Bulletin, 1968, 52(12): 2466-2501.
- [15] 赵孟为.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. Vitrinite reflectance in Triassic with relation to geothermal history of Ordos basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(2): 15-23.
- [16] 陈瑞银,罗晓容,陈占坤,等.鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J].地质学报,2006,80(5):685-693.  
Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. Estimation of denudation thickness of Mesozoic strata in the Ordos Basin and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 685-693.
- [17] 李超,张立强,张立宽,等.鄂尔多斯盆地镇泾地区中生代地层剥蚀厚度估算及古构造恢复[J].岩性油气藏,2016,28(2):72-79.  
Li Chao, Zhang Liqiang, Zhang Likuan, et al. Estimation of denudation thickness of Mesozoic strata and paleostructure restoration in Zhenjing area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(2): 72-79.
- [18] 陈小梅,温爱琴,李仲东.鄂尔多斯盆地南部镇泾地区中生界油气成藏规律研究[J].石油地质与工程,2009,23(5):12-14.  
Chen Xiaomei, Wen Aiqin, Li Zhongdong. Mesozoic oil and gas reservoir formation research of Zhenjing region in south Ordos basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(5): 12-14.
- [19] 贾京坤,尹伟,邱楠生,等.红河油田延长组长8段油气输导体系及运聚模式[J].油气地质与采收率,2016,23(2):9-15.  
Jia Jingkun, Yin Wei, Qiu Nansheng, et al. Petroleum carrier systems and migration and accumulation patterns in Chang8 member of Yanchang Formation in Honghe oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 9-15.
- [20] 姚泾利,段毅,徐丽,等.鄂尔多斯盆地陇东地区中生界古地层压力演化与油气运聚[J].天然气地球科学,2014,25(5):649-656.  
Yao Jingli, Duan Yi, Xu Li, et al. Pressure evolution and oil-gas migration and accumulation in Mesozoic Palaeo-strata in Longdong area of the Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(5): 649-656.
- [21] 李明诚.石油与天然气运移[M].北京:石油工业出版社,2013.  
Li Mingcheng. Hydrocarbon migration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013.
- [22] 师清高,龚建涛,秦志成,等.延长油田三叠系长8、长6油层组沉积特征及储集性能[J].大庆石油地质与开发,2015,34(1):36-41.  
Shi Qinggao, Gong Jiantao, Qin Zhicheng, et al. Sedimentary characteristics and reservoir properties of Triassic Oil Groups Chang8 and Chang6 in Yanchang Oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(1): 36-41.