

洛阳-伊川地区三叠系致密砂岩油气藏地质特征

杜建波^{1,2}, 田景春^{1,3}, 胡俊卿², 曹建康²

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 中国石化 河南油田分公司 石油勘探开发研究院, 河南 南阳 473132;
3. 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)

摘要:通过对洛阳-伊川地区三叠系基本石油地质条件的分析,认为三叠纪洛阳-伊川地区与鄂尔多斯盆地处于同一大型坳陷型湖盆,生储盖架构相似,烃源岩发育、厚度大、横向展布稳定、储层致密,且三叠系油气显示丰富,具致密砂岩油气藏形成的地质条件。结合对屯1井上三叠统椿树腰组工业天然气流分析,进一步明确了洛阳-伊川地区三叠系油气藏为具有低孔渗性、地层压力异常、油气呈“上油下气”倒置关系等特征的先成型致密砂岩油气藏,从而指出三叠系为洛阳-伊川地区下一步油气勘探的主攻层系,致密砂岩油气藏是该区勘探的主要方向。

关键词:屯1井;致密砂岩;油气藏;三叠系;洛阳-伊川地区

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Geological characteristics of the Triassic tight sandstone oil and gas reservoirs in Luoyang-Yichuan area

Du Jianbo^{1,2}, Tian Jingchun^{1,3}, Hu Junqing², Cao Jiankang²

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Exploration & Production Research Institute of Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang, Henan 473132, China;

3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Research of the petroleum geological conditions indicates that Luoyang-Yichuan area is located in the same large depressed lacustrine basin with Ordos Basin in the Triassic. They have similar source-reservoir-caprock associations, thick and extensive source rocks, tight reservoir and active hydrocarbon shows in the Triassic. Therefore, the Luoyang-Yichuan area has the geological conditions for accumulation of tight sand oil/gas. In combination with the analysis of industrial gas flow from the Upper Triassic Chunshuyao Formation in Well Tun 1, we believe that the Triassic reservoirs of the Luoyang-Yichuan area are pre-existing tight sandstone oil/gas reservoirs with low permeability, abnormal pressure, inverted oil-gas contact with oil in the upper and gas in the lower. The Triassic tight sandstone reservoirs are the main targets of petroleum exploration in Luoyang-Yichuan area in the future.

Key words: Well Tun 1, tight sandstone, oil and gas reservoir, Triassic, Luoyang-Yichuan area

1 概况

1.1 区域地质概况

洛阳-伊川地区主要包括洛阳盆地和伊川盆地,位于河南省西部,西起澠池,东止巩义,北起黄河,南达汝阳、嵩县一带。构造上隶属于华北盆地南部,夹持于崤山、熊耳山、外方山、嵩山、箕山与黄河之间,是印支末期在华北地台基础上发展起来的中新生代叠合盆地群(图1)。主要经历了印支末期挤压回返、燕山期隆升剥蚀、喜马拉雅早期伸展断陷、喜马拉雅晚期拗陷等

多个演化阶段。其中,三叠系保存较好,自下而上可划分为“三统六组”,即下统刘家沟组、和尚沟组,中统二马营组、油坊庄组,上统椿树腰组、谭庄组,残留最大厚度达3 800 m,平均厚度大于1 000 m。

1.2 屯1井油气突破

屯1井位于伊川盆地伊川鼻状构造带中部,于2011年完钻于中三叠统油坊庄组,自上而下钻遇新近系、古近系及上三叠统谭庄组、椿树腰组、下三叠统油坊庄组等。其中上三叠统谭庄组和椿树腰组均见到良好油气显示,且显示丰富。上部谭庄组于埋深600~1 200 m油显示活跃;下部椿树腰组于埋深1 200~

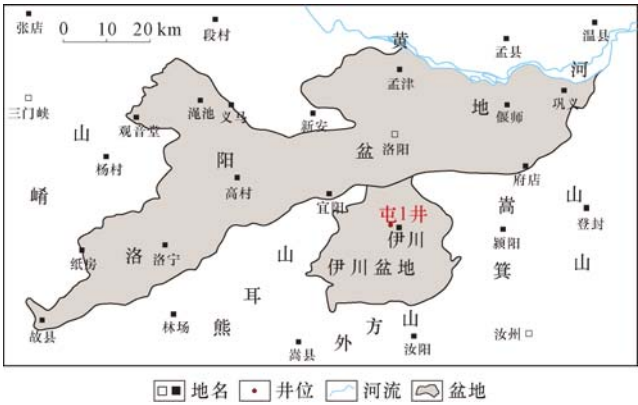


图1 洛阳-伊川地区地理位置图
Fig.1 Location of Luoyang-Yichuan area

2 000 m 气测异常明显,均呈大层段连续性展布特征。该井于深度 1 874 ~ 1 884 m 井段(椿树腰组)压裂试油获日产天然气 7 200 m³,突破了工业气流关,打破了南华北地区油气勘探久攻不克的桎梏,为洛阳-伊川乃至南华北地区下一步油气勘探指明了方向——致密砂岩油气勘探。

2 致密砂岩油气成藏地质条件

三叠纪,南华北地区(含洛阳-伊川地区)与鄂尔多斯盆地处于同一个大型拗陷型湖盆,整体呈北西向展布,沉积中心位于铜川-郑州一带^[1-2](图2)。虽然洛阴-伊川地区遭受燕山-喜马拉雅期构造运动的改造较鄂尔多斯盆地强烈,致使其构造特征复杂,但二者具有相似的生储盖特征。目前,鄂尔多斯盆地三叠系已成为致密砂岩油气藏勘探的典范^[3-6],故洛阳-伊川地区三叠系也应具有致密岩性油气藏勘探的基本石油地质条件。

2.1 烃源岩发育

洛阳-伊川地区发育石炭系-二叠系和三叠系两套主力烃源岩。其中,三叠系烃源岩主体为河流相-湖相暗色泥岩,主要发育于上三叠统谭庄组和椿树腰

组,暗色泥岩总厚 200 ~ 850 m,烃源岩有机质丰度中等-高,总有机碳含量(*TOC*)为 0.6% ~ 14.9%,总体为中等-好烃源岩(表1);有机质类型主要为Ⅱ-Ⅲ型,镜质体反射率(*R_o*)为 0.6% ~ 1.3%,处于生烃高峰期,是油气勘探的重要层系。通过与美国落基山及国内鄂尔多斯盆地等几个主要致密砂岩油气藏盆地的烃源岩特征对比认为^[7-8],洛阳-伊川地区具备致密砂岩油气藏形成的烃源条件。

2.2 储集层致密

区内三叠系残余厚度为 800 ~ 3 000 m,砂岩厚度为 400 ~ 1 300 m,储集层发育;但因成岩作用较为强烈,储层致密,平均孔隙度为 5% ~ 10%。

本区上三叠统砂岩发育,主要类型有:河流相砂体、三角洲前缘砂体、浅湖砂坝砂体、浅湖-半深湖砂体等。其中三角洲前缘砂体是区内上三叠统最主要的骨架砂体类型,构成了该区主要的储集层。砂岩厚度为 464 ~ 682 m,含砂率为 36.8% ~ 53.2%(表2),自北而南含砂率逐渐降低,北部济源西承留含砂率达 53.2%,南部宜阳、伊川一带含砂率为 42% 左右。

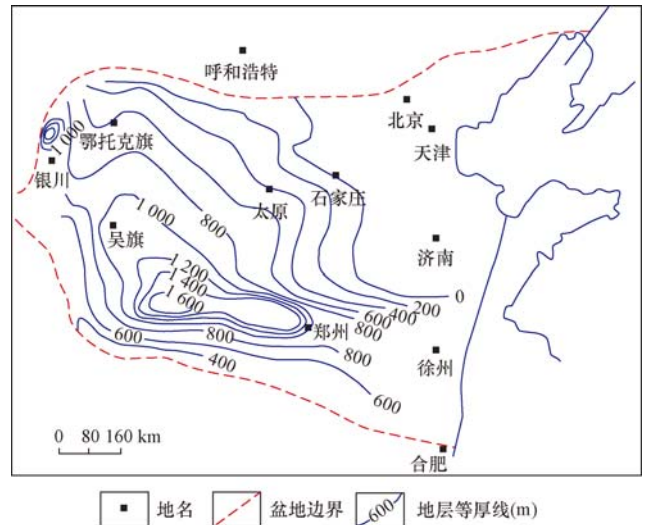


图2 华北地区晚三叠世沉积等厚图^[1]
Fig.2 Isopach of the Upper Triassic in North China^[1]

表1 洛阳-伊川地区上三叠统烃源岩有机质丰度统计

Table 1 Organic abundance of source rocks in the Upper Triassic in Luoyang-Yichuan area

盆地	井号	层位	深度/m	岩性	厚度/m	<i>TOC</i> /%	"A"/%	(<i>S</i> ₁ + <i>S</i> ₂)/(mg · g ⁻¹)
伊川	3001 孔	<i>T</i> ₃ <i>t</i>	384.00 ~ 908.67	深灰色泥岩	382.70	1.00	0.054 1	3.14
				炭质泥岩	9.50	14.90		77.34
	屯 1 井	<i>T</i> ₃ <i>t</i>	600.23 ~ 1 214.00	深灰色泥岩	414.29	1.67	0.017 0	5.13
		<i>T</i> ₃ <i>ch</i>	1 214.00 ~ 2 002.00	深灰色泥岩	444.67	2.37		3.94
	伊 1 井	<i>T</i> ₃ <i>t</i>	397.00 ~ 629.00	深灰色泥岩	151.70	0.64	0.017 0	1.87
		<i>T</i> ₃ <i>ch</i>	707.00 ~ 1 320.00	深灰色泥岩	259.50	1.39		5.22
洛阳	洛 1 井	<i>T</i> ₃ <i>ch</i>	2 164.50 ~ 2 654.00	深灰色泥岩	187.50	0.74	0.061 0	

注:*TOC* 为有机碳含量;"A"为氯仿沥青"A"含量;*S*₁ + *S*₂ 为生烃潜量。

表 2 洛阳-伊川及周缘地区上三叠统岩性厚度统计

Table 2 Lithology-thickness statistics of the Upper Triassic in Luoyang-Yichuan and adjacent area

地区	层位	地层厚度/m	岩性厚度/m(占地层总厚百分数)		
			砂岩	粉砂岩	泥岩
济源	T ₃ t	770.5	98(13%)	254(33%)	416.5(54%)
	T ₃ ch	512.0	146(28%)	184(36%)	182.0(36%)
义马	T ₃ t	885.9	168(19%)	117(13%)	600.9(68%)
	T ₃ ch	644.9	231(36%)	53(8%)	360.9(56%)
宜阳	T ₃ t	472.0	151(32%)	85(18%)	236.0(50%)
	T ₃ ch	230.8	52(22%)	20(9%)	158.8(69%)
石门	T ₃ t	747.0	145(20%)	131(17%)	471.0(63%)
	T ₃ ch	175.2	76(43%)	5(3%)	94.2(54%)
伊川	T ₃ t	879.2	242(28%)	90(10%)	547.2(62%)
	T ₃ ch	247.8	56(23%)	76(31%)	115.8(47%)
3001 孔	T ₃ t	>520.0	64(13%)	122(23%)	334.0(64%)
屯 1 井	T ₃ t	613.7	154(25%)	78(13%)	381.7(62%)
	T ₃ ch	811.3	344(42%)	46(6%)	421.3(52%)

上三叠统砂岩储层总的特点是低孔隙度(2%~11%)、低渗透率($0.03 \times 10^{-3} \sim 3.50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)和高碳酸盐含量(10%~15%);铸体薄片分析表明,岩石普遍胶结致密,非均质性较强。主要孔隙类型为次生孔隙,以粒间溶孔和粒内溶孔为主,少量胶结物溶蚀孔隙及原生孔隙,储集性能较差,为低孔、特低渗储层。

区内中、下三叠统砂岩厚 200~600 m,占地层的 40%~50%。岩性主要为中细粒石英质长石砂岩及岩屑长石砂岩(图 3)。长石含量高,碳酸盐胶结及铁泥质胶结普遍。压实作用强烈,颗粒间多呈线接触。实测孔隙度为 4.6%~9.9%,平均为 7.92%;渗透率为 $0.038 \times 10^{-3} \sim 2.140 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.760 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属特低渗透储层,局部受溶蚀作用影响,次生溶蚀孔隙较发育,储集性能相对较好^[9-10]。

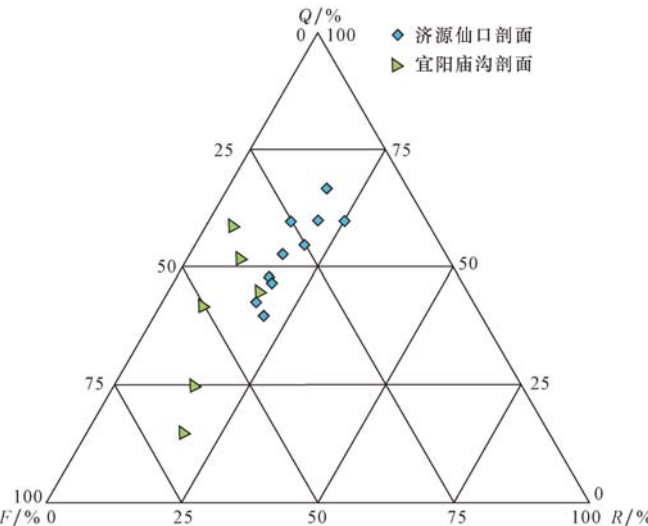


图 3 洛阳-伊川及周缘地区中、下三叠统砂岩分类

Fig. 3 Sandstone classification of the Middle-Lower Triassic in

Luoyang-Yichuan and adjacent area

Q. 石英含量;F. 长石含量;R. 岩屑含量

2.3 区内三叠系油气显示丰富

洛阳-伊川地区钻遇三叠系探井仅 3 口(屯 1 井、伊 1 井和洛 1 井),均于上三叠统见良好油气显示。另外,多口煤田钻孔(伊 3001 孔、4001 孔等)也于上三叠统见油气显示。其中,洛 1 井于上三叠统见 36 m/30 层荧光砂岩;伊 1 井于上三叠统见 107 m/28 层荧光-油斑砂岩;4001 孔于谭庄组见油斑显示;3001 孔于谭庄组见 50.87 m/22 层油气显示;屯 1 井于上三叠统见油气显示(含岩心)27.65 m/41 层,并于深度 1 200~2 000 m 井段普遍见气测异常。丰富的油气显示进一步证明了洛阳-伊川地区三叠系具有连续性分布特征,勘探潜力较大。

3 致密砂岩油气藏地质特征

屯 1 井于上三叠统常规试油仅获少量原油和天然气,压裂试油突破天然气工业气流关,对其油气藏地质特征分析,具有低孔、低渗、地层压力异常、油气关系倒置等先成型致密砂岩油气藏特征。

3.1 地层压力异常,呈低压特征

地层压力是指作用于地层孔隙空间的流体(油、气、水)压力。正常地层压力等于地表到某一地层深度的静水压力。其中,超过静水压力的地层压力或压力系数(实测压力/静水压力)大于 1 的为高压异常;低于静水压力的地层压力或压力系数小于 1 的为低压异常^[11]。

致密砂岩油气藏由于储层致密,油气逃逸速度低于生排烃速度,原生油气藏均为高压油气藏,后期由于遭受抬升-剥蚀,随着温度降低和剥蚀卸载等作用,生

烃作用停止,岩石骨架反弹与孔隙扩容,导致高压向低压演化,油气藏逐步变为常压或低压^[11-14]。洛阳-伊川地区屯1井地层测试实测深度1 879 m地层压力8.2 MPa,折算压力梯度0.436 MPa/100 m,与录井所测DC指数解释压力梯度基本一致(表3),表明洛阳-伊川地区三叠系致密砂岩油气藏为低压油气藏。

3.2 油气关系复杂,呈“上油下气”倒置特征

致密砂岩油气藏由于渗透性差,迁移能力弱,油、气、水重力分异不明显,多呈近源聚集特征^[13-17];常规油气由于油气水的重力分异作用,多呈上气中油下水或者上气下油特征。伊川盆地上三叠统岩性主要为粉-细砂岩、泥质粉砂岩与泥岩互层,其中,泥岩对生成的油气起到了封盖作用,而储层又呈低孔特低渗特征(孔隙度平均3.58%,渗透率平均 $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),使得生成的油气在纵向上运移和重力分异困难,故油气多就近聚集,保持了原有油气生成时的状态,呈现油气关系复杂的特征。屯1井上三叠统谭庄组见丰富油显示,并于岩心中见少量原油,且气测较弱;而下伏椿树腰组仅见少量荧光显示,但气测异常明显,达216 m/54层,并于深度1 874~1 884 m井段压裂后试获工业气流,日产天然气7 200 m³。油气显示呈现“上油下气”的倒置特征。

3.3 先致密后成藏

对于致密砂岩油气藏,通常可划分为先成型和后成型两类^[18-21]。先成型指储层先期致密,然后烃源岩生排烃成藏;后成型则指烃源岩先期生排烃成藏,然后储层致密。由于致密砂岩油气藏多不存在底水和边水,无浮力作用,随着油气的不断供给,在压实作用、生烃膨胀力等驱动下排替自由孔隙水,油气水界面沿储层向上倾方向整体推移,压实作用和生烃膨胀力则成为其运移的主要动力;而油气水之间的毛细管压力和油气藏上覆的地层水柱压力构成了油气运移的主要阻力。加之先成型致密储层的物性与烃岩相差无几,故优势运移通道不发育,主要表现为在侧向输导层中整

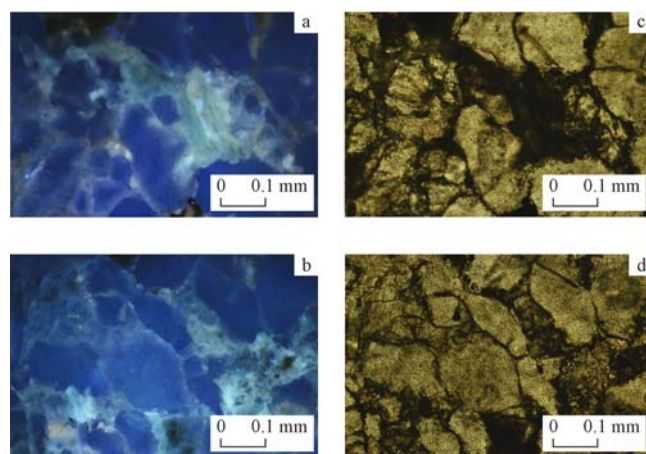


图4 洛阳-伊川地区邻井上三叠统荧光薄片显微照片
Fig. 4 Micrographs of fluorescence thin sections of the Upper Triassic from wells in areas adjacent to Luoyang-Yichuan area
a, b. 谭庄组荧光薄片; c, d. 谭庄组单偏光薄片

体排驱水运移,呈储源近距接触特征。而后成型中断层、不整合和连通性较好的高孔渗砂体是其优势运移通道,以浮力和生烃膨胀力为其主要动力,可进行垂向及侧向运移,运移距离较大。

区内含油性与物性关系密切,物性较好砂岩多发育荧光或油迹,物性差砂岩则无显示;同时,区内邻井荧光照片(图4)可以看出,在颗粒成岩缝中均发育荧光,进一步表明油气生排烃期相对较晚,应在储层致密和成岩缝形成之后,故综合分析认为区内油气藏应为先成型。

4 结论

1) 洛阳-伊川地区上三叠统岩性为灰-深灰色薄-中层粉砂岩、细砂岩与泥岩互层,烃源岩和砂岩储层均较发育。其中,储层致密,呈低孔特低渗特征;烃源岩厚度大、横向分布稳定,具有大面积含油气的地质特征。

2) 洛阳-伊川地区三叠系油气藏具有低孔渗性、地层压力异常、油气关系倒置、先致密后成藏的先成型致密砂岩油气藏特征。三叠系为洛阳-伊川地区下一步油气勘探的主攻层系,致密砂岩油气藏是该区勘探的主要方向。

表3 洛阳-伊川地区屯1井地层压力解释

Table 3 Formation pressure interpretation of Well Tun 1 in Luoyang-Yichuan area

层位	井段/m	DC 指数	压力梯度/(MPa/100 m)
T ₃ ch	1 401 ~ 1 404	1.52 ~ 1.55	0.41 ~ 0.46
	1 425 ~ 1 433	1.52 ~ 1.58	0.37 ~ 0.46
	1 444 ~ 1 461	1.49 ~ 1.61	0.37 ~ 0.50
	1 486 ~ 1 494	1.49 ~ 1.56	0.44 ~ 0.52
	1 512 ~ 1 518	1.50 ~ 1.58	0.42 ~ 0.47
	1 530 ~ 1 537	1.50 ~ 1.60	0.38 ~ 0.50
	1 882 ~ 1 885	1.57 ~ 1.60	0.46 ~ 0.50

参 考 文 献

- [1] 朱夏,徐旺. 中国中生代沉积盆地[M]. 北京:石油工业出版社,1990:148-168.
Zhu Xia, Xu Wang. Mesozoic-Cenozoic sedimentary basins in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 148-168.
- [2] 吕强,赵俊兴,陈洪德,等. 鄂尔多斯盆地南部中生界延长组物源与盆地地形分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(6): 610-616.

- Lü Qiang, Zhao Junxing, Chen Hongde, et al. Analysis of the provenance and basin bottom shape of Yanchang epoch of Mesozoic in Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, 35(6): 610–616.
- [3] 邹才能, 陶士振, 袁选俊, 等. 连续型油气藏及其在全球的重要性: 成藏、分布与评价 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(6): 669–682.
- Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. Global importance of “continuous” petroleum reservoirs: accumulation, distribution and evaluation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(6): 669–682.
- [4] 杨勇, 查明, 孟闲龙. 地层油气藏类型与成藏规律 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28(5): 647–649.
- Yang Yong, Zha Ming, Meng Xianlong. Types and patterns of hydrocarbon accumulation of stratigraphic reservoirs [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(5): 647–649.
- [5] 李士祥, 刘显阳, 韩天佑, 等. 陕北地区延长组长 10 油层组成藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 698–709.
- Li Shixiang, Liu Xianyang, Han Tianyou, et al. Characteristics of hydrocarbon pooling in Chang-10 interval of the Yanchang Fm in the northern Shaanxi province [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 698–709.
- [6] 董晓霞, 梅廉夫, 全永旺. 致密砂岩气藏的类型和勘探前景 [J]. 天然气地球科学, 2008, 18(3): 351–354.
- Dong Xiaoxia, Mei Lianfu, Quan Yongwang. Types of tight sand gas accumulation and its exploration prospect [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 18(3): 351–354.
- [7] Williams K E, Lerche I, Maubeuge F. Unconventional gas traps; low permeability sands and gas accumulations [J]. Energy Exploration & Exploitation, 1998, 16(1): 1–87.
- [8] 丁晓琪, 张峭楠, 谢世文, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 157–164.
- Ding Xiaoqi, Zhang Shaonan, Xie Shiwen, et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in Zhenjing oilfield, the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 157–164.
- [9] 钟大康, 周立建, 姚泾利, 等. 储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 890–899.
- Zhong Dakang, Zhou Lijian, Yao Jinli, et al. Influences of petrologic features on diagenesis and pore development: an example from the Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 890–899.
- [10] 王瑞飞, 陈明强, 孙卫. 鄂尔多斯盆地延长组超低渗透砂岩储层微观孔隙结构特征研究 [J]. 地质论评, 2008, 54(2): 270–277.
- Wang Ruifei, Chen Mingqiang, Sun Wei. The Research of micro-pore structure in super-low permeability sandstone reservoir of the Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Geological Review, 2008, 54(2): 270–277.
- [11] 杜栩, 郑洪印, 焦秀琼. 异常压力与油气分布 [J]. 地学前缘, 1995, 2(3–4): 137–148.
- Du Xu, Zheng Hongyin, Jiao Xiulong. Abnormal pressure and hydrocarbon accumulation [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3–4): 137–148.
- [12] 邹华耀, 郝芳, 蔡勋育. 沉积盆地异常低压与低压油气藏成藏机理综述 [J]. 地质科技情报, 2003, 22(2): 45–50.
- Zou Huayao, Hao Fang, Cai Xunyu. Summarization of subnormal pressures and accumulation mechanisms of subnormally pressured petroleum reservoirs [J]. Geological Science and Technology Information, 2003, 22(2): 45–50.
- [13] 姜福杰, 庞雄奇, 姜振学, 等. 致密砂岩气藏成藏过程的物理模拟实验 [J]. 地质论评, 2007, 53(6): 844–849.
- Jiang Fujie, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, et al. Physical simulation experiment of gas charging in tight sandstone [J]. Geological Review, 2007, 53(6): 844–849.
- [14] 肖芝华, 钟宁宁, 黄志龙, 等. 从模拟实验看致密砂岩储层的石油成藏条件 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 721–725.
- Xiao Zhihua, Zhong Ningning, Huang Zhilong, et al. A study on hydrocarbon pooling conditions in tight sandstones through simulated experiments [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 721–725.
- [15] 英亚歌, 王震亮, 范昌育. 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 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 118–123.
- Ying Yage, Wang Zhenliang, Fan Changyu. Oil migration and accumulation under the influence of fluid dynamics in the Yanchang Formation, eastern Gansu Province, the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 118–123.
- [16] 邹才能, 朱如凯, 吴松涛, 等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例 [J]. 石油学报, 2012, 33(2): 173–187.
- Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations; taking tight oil and tight gas in China as an instance [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173–187.
- [17] Masters J A. Deep basin gas trap, Western Canada [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(2): 152–181.
- [18] 姜振学, 林世国, 庞雄奇, 等. 两种类型致密砂岩气藏对比 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 210–214.
- Jiang Zhenxue, Lin Shiguo, Pang Xiongqi, et al. The comparison of two types of tight sand gas reservoir [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(3): 210–214.
- [19] 杜清. 致密砂岩油气藏特征研究 [J]. 西部探矿工程, 2011, 7: 37–42.
- Du Qing. Study on characteristic of tight sand oil and gas reservoir [J]. West-China Exploration Engineering, 2011, 7: 37–42.
- [20] 公言杰, 邹才能, 袁选俊, 等. 国外“连续型”油气藏研究进展 [J]. 岩性油气藏, 2009, 21(4): 130–134.
- Gong Yanjie, Zou Caineng, Yuan Xuanjun, et al. Progress in the research of “continuous” petroleum accumulations abroad [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(4): 130–134.
- [21] 郭秋麟, 陈宁生, 胡俊文, 等. 致密砂岩气聚集模型与定量模拟探讨 [J]. 天然气地球科学, 2012, 23(2): 199–207.
- Guo Qiulin, Chen Ningsheng, Hu Junwen, et al. Geo-model of Tight Sandstone Gas Accumulation and Quantitative Simulation [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(2): 199–207.