

临南洼陷沙三段油气充注强度 与储层性质的定量关系

崔岩波¹, 段云歌^{1,2}, 翟肖峰³

(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. 四川省地震局, 四川 成都 610041; 3. 山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:通过对临南洼陷沙三段储层样品的系统分析,探讨了不同含油级别样品中成岩矿物的分布特征,建立了含油饱和度和次生孔隙度的定量关系。研究发现,油气充注可能会引起储层成岩环境的变化,能抑制石英和伊利石的胶结作用,加剧碳酸盐矿物的溶蚀作用,缓冲压实作用。当含油级别低于或等于油浸($S_o = 16.93\% \sim 19.65\%$)时,次生孔隙度随含油级别增加而增加,从油浸到富含油级别($S_o > 19.65\%$)时,次生孔隙度略有降低。

关键词:临南洼陷; 油气充注; 成岩演化; 含油级别; 次生孔隙

中图分类号: TE122

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2013)01-0026-06

Quantitative Relationship Between Oil Saturation and Porosity of Es₃ Reservoir Rocks in Linnan Sub sag

Cui Yanbo¹, Duan Yunge^{1,2}, Zhai Xiaofeng³

(1. Key Lab of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals of Shandong Province, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Seismological Bureau of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610041, China; 3. College of Geological Science and

Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: By analyzing the reservoir samples of Es₃ in Linnan subsag, the paper discussed the distribution characteristics of diagenesis minerals in samples with different oil-bearing grades, and established a quantitative relationship between the oil saturation and the secondary porosity. The study indicates that hydrocarbon charging process may change the diagenetic environment of reservoirs, which means restraining the cementation of quartz and illite, improving the corrosion of carbonate minerals, and buffering the consolidation. In addition, the secondary porosity increases with increasing the oil-bearing grade when the latter is below or equal to oil immersion ($S_o = 16.93\% - 19.65\%$), while the former decreases slightly when the latter rises from immersion to oil-rich level ($S_o > 19.65\%$).

Key words: Linnan subsag; hydrocarbon charging; diagenesis; oil bearing grade; secondary porosity

储层物性的好坏受控于原始沉积相带和后期埋藏过程中的成岩演化,储层次生孔隙的形成演化来源于孔隙流体介质与岩石颗粒的相互作用所导致的矿物的溶解与沉淀。多数学者倾向于早期的烃类充注有利于深部储层孔隙的保存,但仍有可能出现石英次生加大边等现象^[1-5],部分学者对此持怀疑态度^[6-7]。研究表明,油气充注对石英等胶结物的影响与充注速度、充注时间和含油饱和度有关,早期快速的油气充注以及高含油饱和度对石英等胶结物有明显的抑制作用,而后期缓慢的油气充注或低含油饱和度对石英等胶结物的抑制作用则不太明显^[5,8]。

本研究建立了烃类充注影响孔隙保存的理论模型^[4,9]。通过对临南洼陷重点井岩心观察并取样分析,

收稿日期: 2012-09-07

基金项目: 山东省高校科研计划项目(J09LE08)

作者简介: 崔岩波(1988—),男,山东聊城人,硕士研究生,主要从事油气地质方面的研究。E-mail: cuiyanbo1988@163.com

通过对岩石薄片进行矿物成份、成岩特征和孔隙度等分析,建立油气充注强度与储层物性的定量关系,得出储层含油程度与砂岩成岩矿物的含量及组构之间的关系,对于有效评价储层物性具有重要意义。

1 地质背景

临南洼陷位于惠民凹陷西部中端,北以中央隆起与滋镇洼陷相隔,南面由临南斜坡向鲁西隆起过渡,受北倾的夏口断层和南倾的临商断层控制,构成不对称的地堑式结构。发育中央隆起带、临南洼陷带、夏口断裂带和临南斜坡带 4 个次级构造单元(图 1)。惠民凹陷基底由太古界及古生界组成,其上发育下古生界寒武系和奥陶系,上古生界石炭系、二叠系,中生界侏罗系、白垩系,新生界古近系、新近系和第四系。目前发现的油气,纵向主要分布于沙河街组三段(沙三段)—沙河街组二段(沙二段),围绕临南洼陷周缘呈不完整环状分布,油气储量规模、发育层位具有北多南少的特点。沙三段厚度 400~1500 m,为一套多旋回暗色砂、泥岩沉积,不同凹陷具有不同的沉积特点,埋深一般大于 2600 m,多数在 3000 m 以下。沙三下上部沉积时期,惠民凹陷裂陷作用明显,盆地基底沉降幅度大、物源补给不充分,由于欠补偿沉积作用,深水湖相发育,形成一套深灰色、灰色泥岩、油页岩夹砂岩或与砂岩不等厚互层沉积^[10]。分析沙三段储层中油气充注强度对储层物性的影响,有利于揭示该区有利储集空间的发育情况。

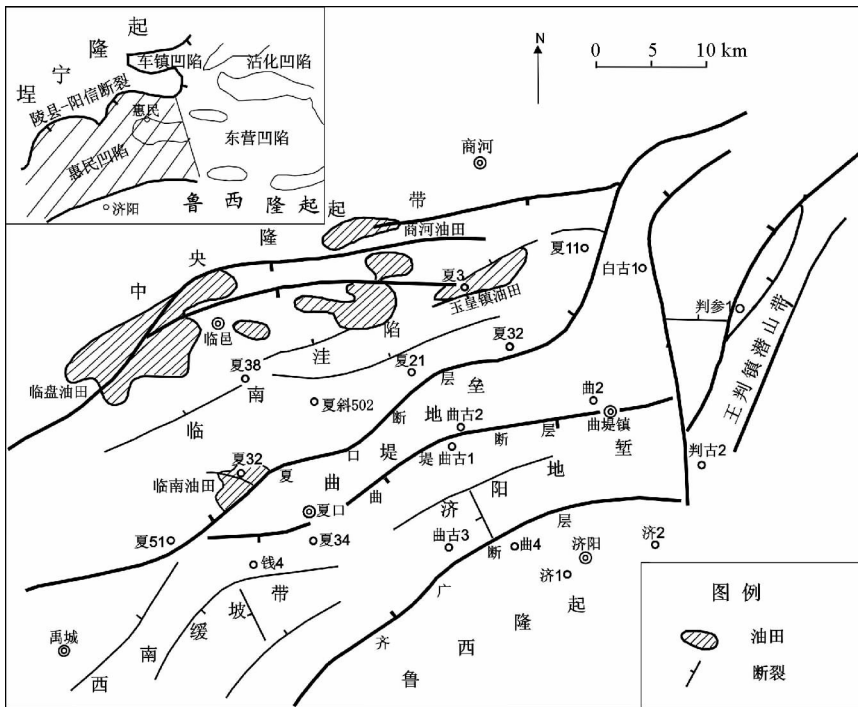


图 1 临南洼陷构造单元划分图

Fig. 1 The tectonic units of Linnan subsag

2 油气充注对成岩矿物的影响

2.1 对石英的影响

临南洼陷储层中石英相对含量变化较大,但不同深度岩石中石英的相对含量变化并不具明显规律性(图 2(a)),对比不同含油级别样品,石英的相对含量也没有明显变化规律,表明本区储层中石英相对含量与成岩作用关系不大,可能主要受母源性质和沉积环境的影响。

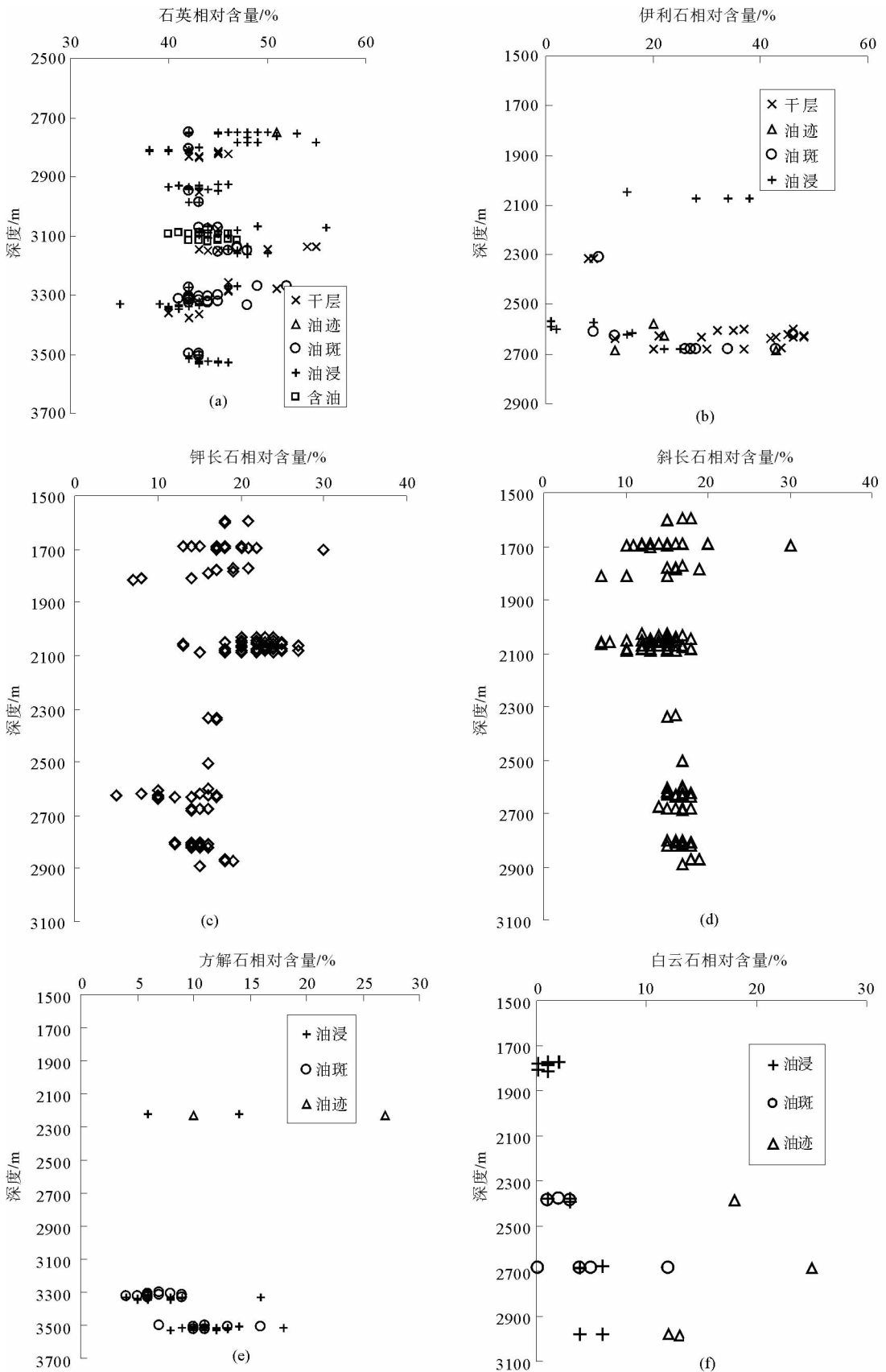


图 2 临南洼陷不同含油级别储层中成岩矿物与深度的变化关系图

Fig. 2 Diagenesis evolution under different oil bearing grades and depths of Linnan subsag

2.2 对粘土矿物的影响

由图 2(b)可以看出,干层中伊利石的相对含量较高,达 50%左右,随含油程度的增加,伊利石含量下降,当含油级别达到油浸时,伊利石的平均相对含量只有 10%。烃类充注引起孔隙流体性质的改变,使成岩环境发生变化,其结果将导致伊利石停止生长^[11]。伊利石相对含量与含油级别呈负相关关系,说明油气充注抑制了伊利石的胶结作用。不过在含油程度低的砂岩中也观察到明显的伊利石胶结作用,可见这种抑制作用并非是油气刚注入储层中就发生,而是需要达到一定的含油程度,才会改变成岩介质条件,抑制自生伊利石生长。

2.3 对长石的影响

本区储层样品,无论是水层还是含油层,随着埋深的加大,钾长石相对含量明显降低,而斜长石变化不大(图 2(c),(d))。相同深度样品中长石矿物的相对含量,受到岩石中原始含量和溶蚀作用强弱的影响。与水层中钾长石的钠长石化程度相比,油层中的钠长石化程度要小得多,表明石油的充注一定程度上抑制了钾长石的钠长石化,但长石的溶蚀作用并没有因为石油的充注而立即停止。

2.4 对碳酸盐矿物的影响

临南洼陷油层样品中,方解石、白云石的相对含量一般比水层中(一般含量在 15%~20%)低^[13](图 2(e),(f)),在深层尤为明显。方解石从浅部开始溶蚀,但其相对含量与含油级别没有明显的相关性,白云石的相对含量与含油级别呈负相关关系,随含油级别的增加其相对含量减少。研究区含油砂岩中长石类及碳酸盐类矿物的溶解普遍比不含油砂岩强烈,次生孔隙发育较好。其主要原因是:一方面油气充注占据了空间,限制了地层水的流动,阻碍被消耗的离子补给;另一方面有机酸造成地层水 pH 值降低,不利于方解石和白云石的沉淀作用发生。同时,在显微镜下也可以观测到含油砂岩的碳酸盐胶结物溶解比较完全,而不含油砂岩的原生孔隙和次生孔隙均有不同程度的方解石充填。

3 油气充注强度对次生孔隙发育的影响

3.1 次生孔隙发育特点

临南洼陷古近系储层中次生孔隙发育的主要成因是长石以及碳酸盐矿物的溶蚀,如由长石溶蚀形成次生孔隙(包括粒内溶孔、铸模孔、超大孔)和长石溶蚀生成高岭石并形成次生孔隙。由图 3^[12]可知,次生孔隙在 2500~3000 m 深度发育,高岭石的相对含量在此深度范围最高,超过这个深度则明显下降(图 4),说明在 2500~3000 m 深度范围,相当部分长石溶蚀形成大量次生孔隙。

此外,该区碳酸盐胶结物的溶蚀作用也非常强烈,造成了次生孔隙的发育,被溶蚀的碳酸盐矿物有成岩早期形成的方解石和成岩晚期形成的铁方解石和铁白云石。在 2500~3000 m 深度范围内,碳酸盐矿物含量明显减少(图 5),与次生孔隙发育的深度相吻合,而超过这个深度范围,其含量又有所回升。

3.2 油气充注强度与次生孔隙的关系

传统石油地质学对含油级别的划分主要通过人为观察和经验判断,而录井含油级别则由含油面积的大

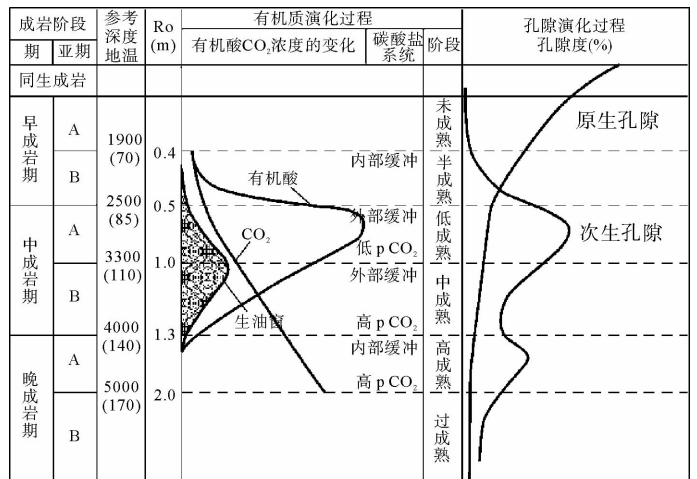


图 3 临南洼陷成岩作用与有机质演化及孔隙演化关系图
 Fig. 3 The relationship of diagenesis, organic evolution and pore evolution of Linnan subsag

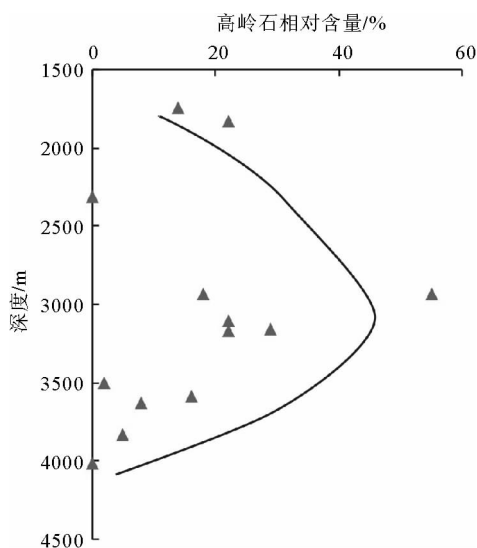


图 4 高岭石相对含量与深度关系图

Fig. 4 Relationship between the relative content of kaolinite and depth

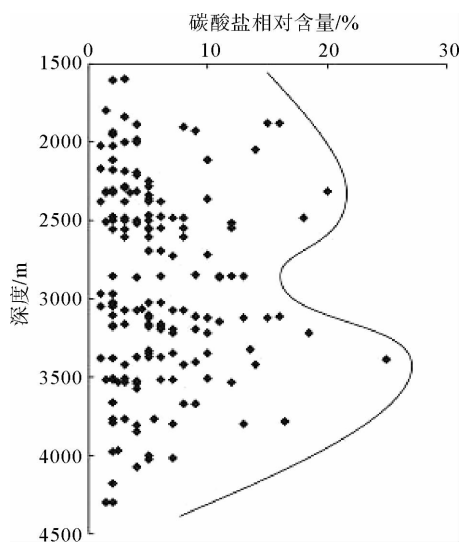


图 5 碳酸盐相对含量与深度关系图

Fig. 5 Relationship between content of carbonate mineral and depth

小和含油饱满程度来确定,因而存在肉眼观察误差。张枝焕等^[13]通过大量的研究,得出储层抽提物含量与录井记录中含油级别之间具有一定的相关性,抽提物含量能够客观地反映储层的含油程度,二者呈正相关关系。由二者的回归关系 $S_o = 0.8941DEM + 3.512$ ($R^2 = 0.9989$) 可以得出富含油的下限 $S_o = 19.65\%$, 油浸下限 $S_o = 16.93\%$, 油斑下限 $S_o = 12.41\%$, 荧光下限 $S_o = 7.51\%$ 。含油级别为油迹时,对应最小的次生孔隙度;随着含油级别的增加,次生孔隙整体增加,当含油级别达到油浸时次生孔隙度达到最大值;含油级别达到富含油时,次生孔隙度略有减小(图 6)。含油饱和度与次生孔隙度之间存在以下变化关系:

$$\varphi_s = \begin{cases} 0.629S_o - 4.096, & S_o \leq 19.65 \\ -0.0073S_o + 10.293, & 19.65 < S_o < 60 \end{cases}$$

其中: φ_s —次生孔隙度,%; S_o —含油饱和度,%。

造成这一现象的主要原因是石油的充注对孔隙水性质的改变。一方面石油的充注使其中含有有机酸的水溶性有机质溶解于地层水中,造成地层水 pH 值的降低,与石油伴生的孔隙水酸性增强,促进长石和方解石的溶解;另一方面聚集在储集层的烃类流体阻碍矿物与离子之间的质量传递,抑制了自生矿物的形成以及矿物的交代和转化。但随着含油饱和度的继续增大,当含油级别达到油浸至富含油时,孔隙水的流动受到明显抑制,易形成石英次生加大,阻碍了溶解、沉淀等成岩作用的继续进行。

因此,当含油级别达到油浸时,油气充注通过改变孔隙水性质而对次生孔隙进行有利的改造。而当含油级别超过油浸,达到富含油时,次生孔隙度略有减小,其原因是油气充注改造次生孔隙过程中析出的矿物堵塞喉道。虽然有大量的铝硅酸岩矿物溶解形成溶蚀孔隙,但研究表明一个长石颗粒被完全溶解只能形成 14.3% 的孔隙^[14],其余部分由于被高岭石和石英交代,钙质胶结所引起的孔隙减少不仅抵消了溶蚀孔隙,而

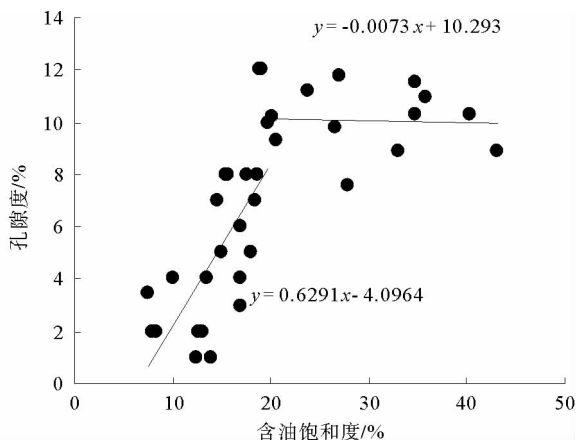


图 6 含油饱和度与孔隙度关系图

Fig. 6 Relationship between oil saturation and secondary porosity

且使孔隙度略有降低。长石与岩屑的溶解尽管可以少量增加孔隙度,但所形成的高岭石与石英使原有孔隙分隔开来形成微孔隙,使其渗透性变差;钙质胶结和交代作用不仅降低了孔隙度,而且堵塞了孔隙喉道,使砂岩的渗透率大幅降低。

4 结论

1) 油气充注抑制了伊利石的胶结作用。油气刚刚进入储层时,伊利石的生长并没有立即停止,只有油气聚集到一定程度之后才有伊利石的胶结作用。油气充注以及其携带的有机酸加剧了碳酸盐矿物的溶解,限制了地层水流动使地层水 pH 值降低,不利于方解石和白云石的沉淀。

2) 油气充注通过改变成岩作用的条件或过程影响储层的物性,研究区古近系储层次生孔隙发育来源于长石、碳酸盐矿物的溶蚀。

3) 含油饱和度与次生孔隙度之间的定量关系表明:当含油级别低于或等于油浸时,次生孔隙度随含油级别增加而增加,到富含油级别时次生孔隙度略有降低。

参考文献:

- [1] Johnson R H. The cementation process in sandstones[J]. American Association of Petroleum Geologists, 1920, 4: 33-35.
- [2] Kantorowicz J D. The influence of variations in illite morphology on the permeability of middle Jurassic Brent group sandstones, Cormorant field, UK North Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 1990(7): 66-74.
- [3] Lee M K, Bethke C M. Groundwater flow, late cementation, and petroleum accumulation in the Permian Lyons Sandstone, Denver Basin[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1994, 78: 217-237.
- [4] Worden R H, Oxtoby N H, Smalley P C. Can oil emplacement prevent quartz cementation in sandstones[J]. Petroleum Geoscience, 1998(4): 129-137.
- [5] 蔡春芳, 顾家裕, 蔡洪美. 塔中地区志留系烃类侵位对成岩作用的影响[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 60-65.
Cai Chunfang, Gu Jiayu, Cai Hongmei. Effect of hydrocarbon emplacement on diagenesis of Silurian sandstone of central Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 60-65.
- [6] Midtb R, Rykkje J M, Ramm M. Deep burial diagenesis and reservoir quality along the eastern flank of the Viking Graben: Evidence for illitization and quartz cementation after hydrocarbon emplacement[J]. Clay Minerals, 2000, 35: 231-241.
- [7] Nedkvitne T, Karlsen D A, Bjorlykke K, et al. Relationship between reservoir diagenetic evolution and petroleum emplacement in the Ula field, North Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 1993(10): 255-270.
- [8] 胡海燕. 油气充注对成岩作用的影响[J]. 海相油气地质, 2004, 9(1-2): 85-89.
Hu Haiyan. Effects of hydrocarbon emplacement to diagenesis of reservoirs[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2004, 9(1-2): 85-89.
- [9] Makowitz A, Lander R H, Milliken K L. Diagenetic modeling to assess the relative timing of quartz cementation and brittle grain processes during compaction[J]. American Association of Petroleum Geologists, 2006, 90(6): 873-885.
- [10] 杨俊生, 樊太亮. 惠民凹陷古近系沙河街组三段沉积体系[J]. 新疆石油地质, 2007, 8(4): 457-461.
Yang Junsheng, Fan Tai liang. Depositional system of the third member of Shahejie Formation of Paleogene in Huimin sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 8(4): 457-461.
- [11] 张厚福, 方朝亮, 张枝焕, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 33-38.
- [12] 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 75-79.
- [13] 张枝焕, 王铁冠, 常象春, 等. 油、水、干层的地球化学识别[J]. 地质评论, 2001(5): 514-520.
Zhang Zhihuan, Wang Tieguan, Chang Xiangchun, et al. Geochemical method distinguishing the oil, water and dry layers [J]. Geological Review, 2001(5): 514-520.
- [14] Surdam R C, Crossey L J, Hagen S E, et al. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis[J]. American Association of Petroleum Geologists, 1989, 73(1): 1-13.