

伊拉克米桑油田群 Mishrif 组 MB₂¹ 段

碳酸盐岩储层特征及成因

张义楷, 康安, 闵小刚, 李志明, 李伟超, 高慧君

(中国海洋石油国际有限公司 中国海油伊拉克有限公司, 北京 100028)

摘要:以岩心、录井、测井、地震及相关生产资料为基础,对伊拉克米桑(Missan)油田群 Mishrif 组 MB₂¹段储层特征及其成因进行分析。结果表明,Mishrif 组 MB₂¹段储层沉积环境属于碳酸盐岩开阔台地,发育有台内滩、台内礁和开阔潮下亚相。岩石类型主要有生物礁灰岩、生屑颗粒灰岩、生屑似球粒颗粒灰岩及生屑似球粒泥粒灰岩。储集空间类型主要为原生粒间孔、次生粒间孔、铸模孔、基质微孔及少量小型溶蚀孔洞和微裂缝。受沉积作用和成岩作用控制,储层横向分布相对稳定,但纵向物性变化较大、层内非均质性严重,是制约原油采出程度的关键因素。

关键词:非均质性;沉积相;成岩作用;碳酸盐岩储层;Mishrif 组;米桑油田群;伊拉克

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Characteristics and genesis of carbonate reservoirs in the Mishrif MB₂¹ member in the Missan oil fields, Iraq

Zhang Yikai, Kang An, Min Xiaogang, Li Zhiming, Li Weichao, Gao Huijun

(CNOOC Iraq Limited, CNOOC International Limited, Beijing 100028, China)

Abstract:The characteristics and genesis of carbonate reservoirs in the Mishrif MB₂¹member in the Missan oil fields were studied based on core, well logging, seismic and production data. The reservoirs were mainly deposited in a carbonate open platform sedimentary environment, and developed several subfacies such as bioclastic shoals, bioherms and open subtidal deposits. Rudist grainstones, skeletal grainstones, skeletal peloidal grainstones and skeletal peloidal packstones were found. Primary intergranular pores, secondary dissolution pores, mouldic pores, micro-pores associated with matrix, a small quantity of micro-vuggy and micro-fractures provided space for hydrocarbon accumulation. Controlled by deposition and diagenesis, reservoir distribution was similar laterally, but varied obviously vertically and showed a strong heterogeneity, which restricted oil development.

Keywords: heterogeneity; sedimentary facies; diagenesis; carbonate reservoir; Mishrif Formation; Missan oil fields; Iraq

1 油田群概况及地质背景

米桑(Missan)油田群位于伊拉克东南部米桑省^[1],毗邻伊朗边界,西北距巴格达约 350 km,南距巴士拉约 175 km(图 1)。油田群共包括 3 个油田,分别是 Abu Ghirab, Buzurgan 和 Fauqi 油田。受区域构造控制^[2],米桑构造区总体表现为北西—南东向的背斜构造,共发育东、西 2 个背斜构造带。其中 Abu Ghirab 油田、Fauqi 油田位于东背斜构造带,Buzurgan 油田位于西背斜构造带。

米桑油田群开发目标共包括 2 套油藏,分别为

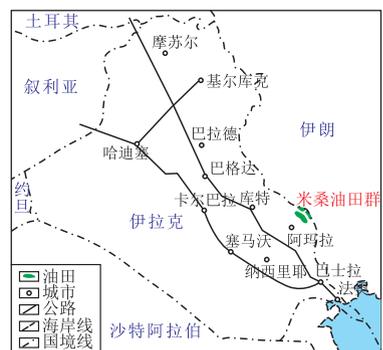


图 1 伊拉克米桑油田群地理位置示意

Fig.1 Geographical location of the Missan oil fields, Iraq

收稿日期:2015-08-20;修订日期:2016-03-17。

作者简介:张义楷(1980—),男,博士研究生,工程师,从事油气开发地质研究。E-mail:zhangyk2@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05030-005)资助。

第三系的 Asmari 油藏(发育在 Abu Ghirab 油田和 Fauqi 油田)和白垩系的 Mishrif 油藏(发育在 Buzurgan 油田和 Fauqi 油田)。Mishrif 油藏属碳酸盐岩油藏^[3],根据岩性和电性特征,可将其储层划分为8段(图2),自下而上依次为 MC₂, MC₁, MB₂², MB₂¹, MB₁², MB₁¹, MA₂, MA₁,其中 MB₂¹ 段地质储量约占整个油田群地质储量的70%以上,是油田群的主力产层,因此 MB₂¹ 段储层就成为整个油田群高效开发的关键所在。笔者以岩心、录井、测井、地震及相关生产资料为基础,分析了 Mishrif 组 MB₂¹ 段碳酸盐岩储层特征,并探讨了影响储层特征的关键因素。

2 储层特征

米桑油田群 Mishrif 组 MB₂¹ 段储层全区发育,储层厚度大,其中 Buzurgan 油田单井储层厚度 66.8~90.0 m,平均 82 m; Fauqi 油田单井储层厚度 20.4~93.8 m,平均 57.5 m。根据岩性和电性特征, MB₂¹ 段可进一步划分为6个小层(图2),自上而下分别为 MB₂¹-D1, MB₂¹-D1D, MB₂¹-D2, MB₂¹-D2D, MB₂¹-D3, MB₂¹-D3D。

2.1 岩石和储集空间类型

根据岩心分析资料, Mishrif 组 MB₂¹ 段碳酸盐

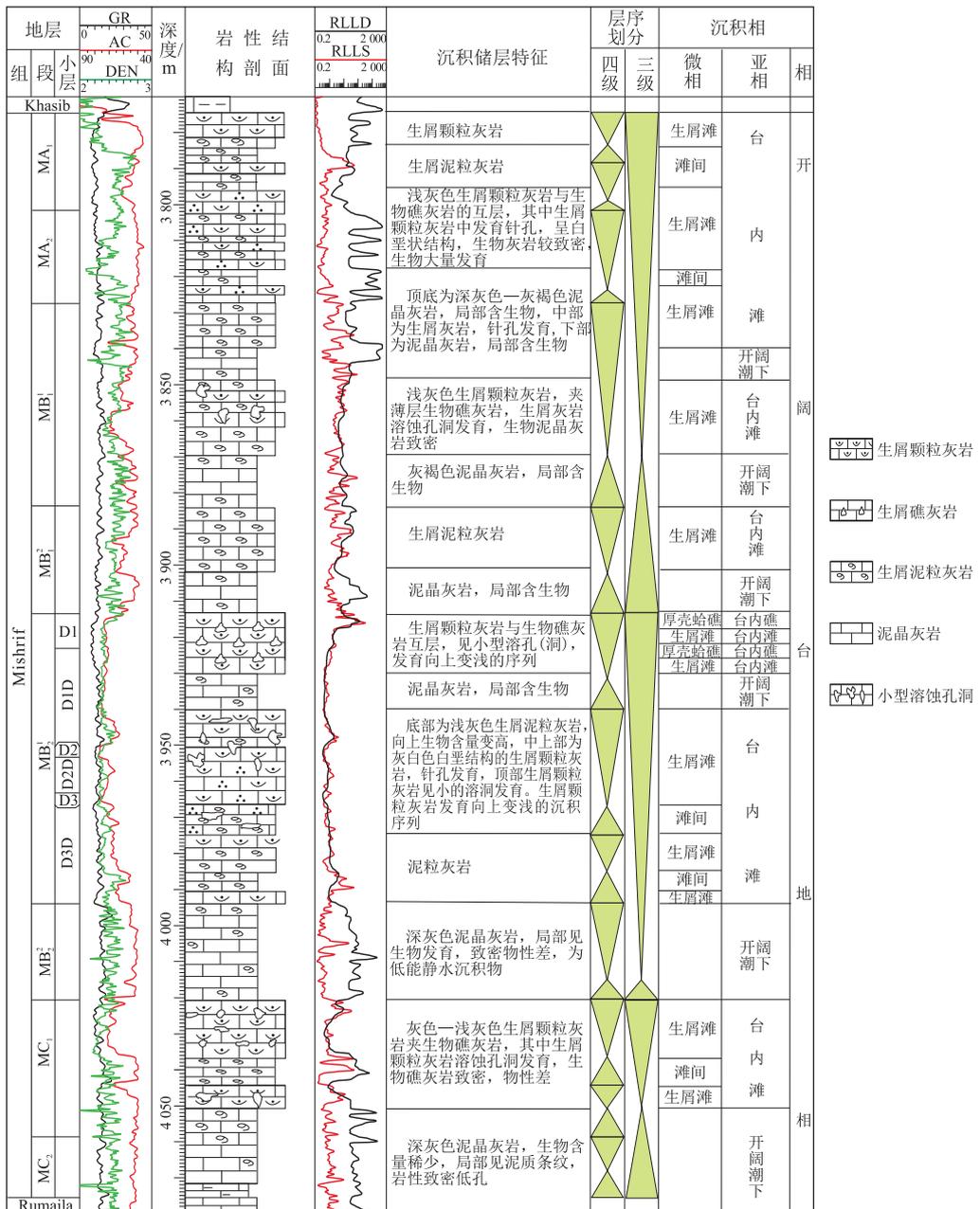


图2 伊拉克米桑油田群 Mishrif 组沉积与层序特征

Fig.2 Sedimentary characteristics and stratigraphic sequence of the Mishrif Formation in the Missan oil fields, Iraq

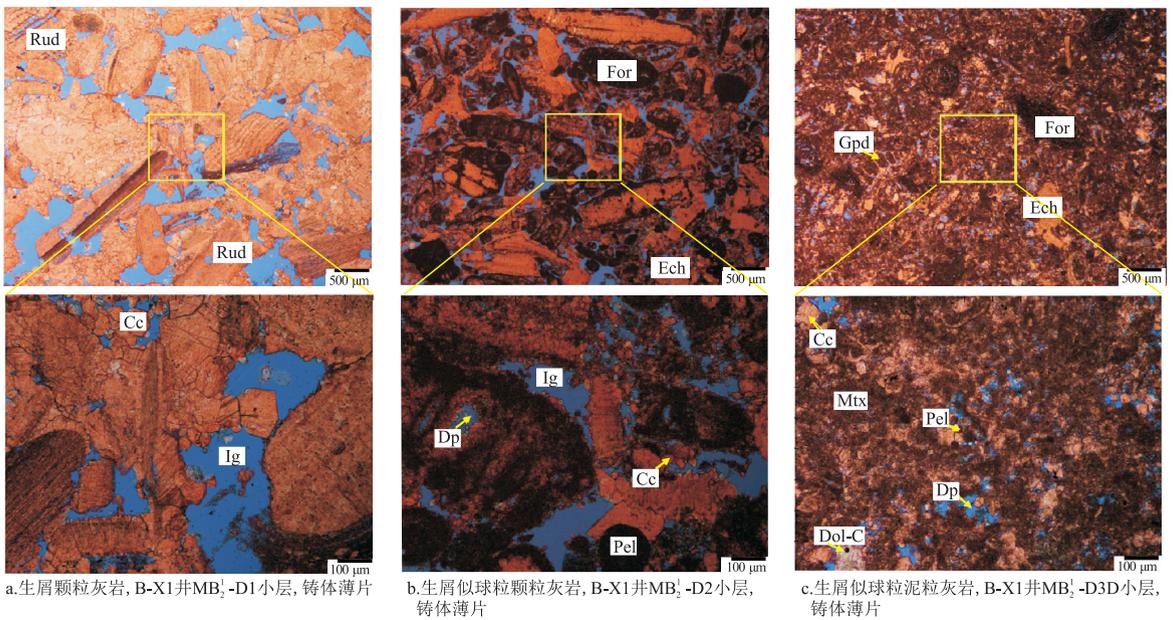


图 3 伊拉克米桑油田群 Mishrif 组 MB₂¹ 段储层孔隙类型

Rud. 厚壳蛤碎屑; For. 有孔虫屑; Ech. 棘皮屑; Gpd. 腹孔虫屑; Cc. 灰质胶结; Ig. 原生粒间孔; Dp. 次生粒间溶孔; Pel. 似球粒; Mtx. 基质; Dol-C. 白云质胶结

Fig.3 Pore types of carbonate reservoirs in the Mishrif MB₂¹ member in the Missan oil fields, Iraq

岩储层主要发育 4 种岩石类型^[4], 分别为生物礁灰岩、生屑颗粒灰岩、生屑似球粒颗粒灰岩及生屑似球粒泥粒灰岩。其中, 生物礁灰岩和生屑颗粒灰岩主要发育于上部 MB₂¹-D1 小层; 生屑似球粒颗粒灰岩主要发育于 MB₂¹-D2 和 MB₂¹-D3 这 2 个小层; 生屑似球粒泥粒灰岩主要发育于 MB₂¹-D1D, MB₂¹-D2D, MB₂¹-D3D 这 3 个物性较差的小层。

储层储集空间类型主要有原生粒间孔、次生粒间溶孔、铸模孔、基质微孔及少量小型溶蚀孔洞和微裂缝。其中生物礁灰岩、生屑颗粒灰岩和生屑似球粒颗粒灰岩中主要发育原生粒间孔、次生粒间溶孔、粒内孔和少量溶蚀孔洞。生屑似球粒泥粒灰岩中主要发育铸模孔、次生粒间溶孔和基质微孔(图 3)。

2.2 沉积相及其特征

通过对岩心的精细描述与观察, 结合录井、测井和地震资料分析, 综合前人对研究区沉积相的认识^[5-10], 认为研究区 Mishrif 组 MB₂¹ 段沉积环境以开阔台地相为主。根据不同的沉积特征和电性特征, 可进一步细分为台内滩、台内礁和开阔潮下亚相(图 2, 4)。

台内滩主要发育于 MB₂¹-D1、MB₂¹-D2 和 MB₂¹-D3 小层, 沉积界面位于平均浪基面附近, 沉积水体能量高, 岩性以颗粒灰岩为主, 生物破碎严重。其自然伽马值一般小于 15 API, 声波时差一般大于 60 s/ft, 补偿密度一般小于 2.75 g/cm³。根据岩性、

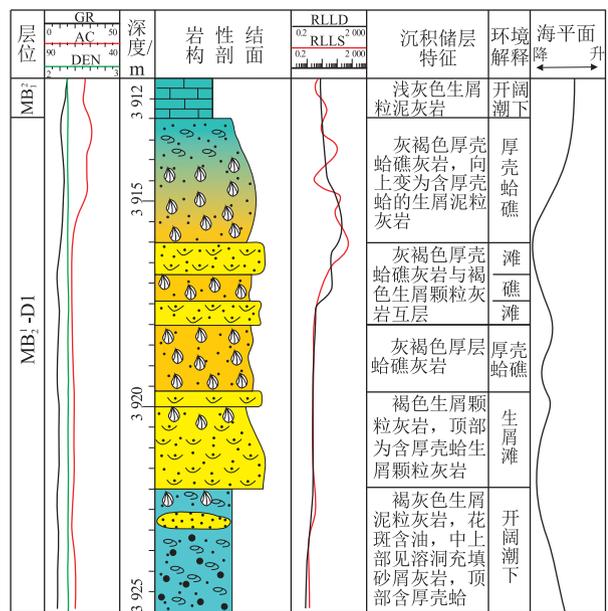


图 4 伊拉克米桑油田群 B-X1 井 Mishrif 组 MB₂¹ 段 D1 小层礁滩复合体

Fig.4 Bioclastic shoal and bioherm complex of the Mishrif MB₂¹-D1 layer of well B-X1 in Missan oil fields, Iraq

物性差异又可进一步细分为生屑滩和滩间微相。

台内礁多见于上部 MB₂¹-D1 小层, 发育于台地内部或缓坡内的微地貌高地。主要为厚壳蛤礁微相, 礁体规模小, 厚度一般小于 2 m, 多与生屑滩组成互层。自然伽马值一般小于 20 API, 声波时差一般大于 54 s/ft, 补偿密度一般小于 2.75 g/cm³。

开阔潮下主要发育于 MB₂¹-D1D、MB₂¹-D2D 和

MB₂¹-D3D 小层,岩性以泥粒灰岩为主。自然伽马值一般大于 20 API,声波时差一般小于 54 s/ft,补偿密度一般大于 2.75 g/cm³。未进一步划分微相。

2.3 储层物性和非均质性

岩心实测的孔、渗数据资料分析表明, Mishrif 组 MB₂¹ 段孔隙度、渗透率分布范围较大。以 Buzurgan 油田南区为例,孔隙度 1.4%~29.7%,平均 17.2%。渗透率(0.2~3 212)×10⁻³ μm²,平均 16.2×10⁻³ μm²。渗透率最好的是 MB₂¹-D1,平均达到 64.5×10⁻³ μm²;渗透率最差的是 MB₂¹-D3D,尽管最大达到 285×10⁻³ μm²,但平均只有 4×10⁻³ μm²。MB₂¹-D1 属高孔、高渗储层,其他层为中等孔、渗储层(表 1)。

Mishrif 组 MB₂¹ 段储层地震属性(纵横波速度比)横向变化相对较小(图 5),反映该段储层横向展布整体相对稳定,仅在局部地区储层变差。已钻井的录、测井及生产测试情况也表明,同一背斜构

表 1 伊拉克米桑油田群 Mishrif 组 MB₂¹ 段孔隙度、渗透率统计

Table 1 Porosity and permeability of Mishrif MB₂¹ member in the Missan oil fields, Iraq

层位	孔隙度/%	渗透率/10 ⁻³ μm ²
MB ₂ ¹ -D1	1.4~29.7/17.7(432)	0.2~3 212/64.5(402)
MB ₂ ¹ -D1D	3.1~24.9/17.1(762)	0.2~557/4.8(762)
MB ₂ ¹ -D2	11.7~26.8/19.4(101)	0.2~180.3/10.6(98)
MB ₂ ¹ -D2D	7.2~25.4/18.3(289)	0.2~180.3/6.6(274)
MB ₂ ¹ -D3	1.7~23.4/16.1(59)	1~81.3/10.9(58)
MB ₂ ¹ -D3D	1.5~28.5/14.5(434)	0.2~285/4(58)

注:表中分式含义为:最小值~最大值/平均值(样品数)。

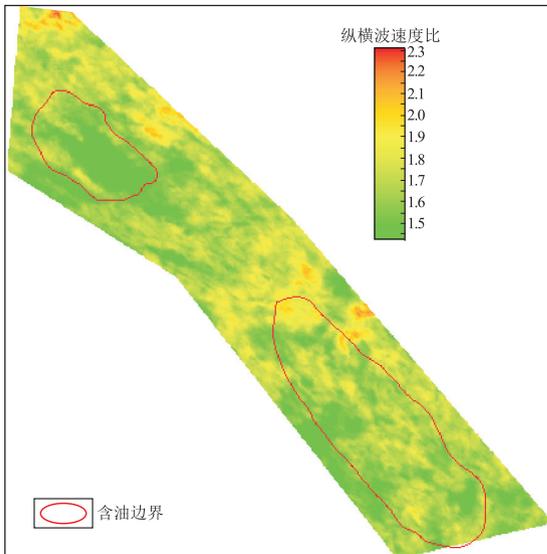


图 5 伊拉克米桑油田群 Buzurgan 油田 Mishrif 组 MB₂¹ 段地震属性平面图

Fig.5 Seismic attribution of the Mishrif MB₂¹ member of the Buzurgan Oil field in the Missan oil fields, Iraq

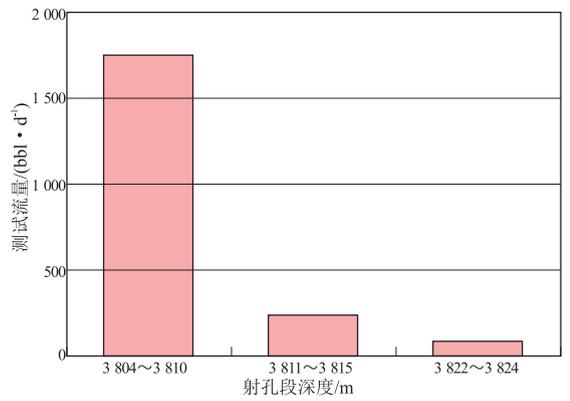


图 6 伊拉克米桑油田群 B-X2 井 Mishrif 组 MB₂¹ 段产液剖面
Fig.6 Liquid production profile of the Mishrif MB₂¹ member of well B-X2 in the Missan oil fields, Iraq

造 Mishrif 组 MB₂¹ 段油藏油水界面统一,属同一压力系统,含油范围内不同位置生产井产能差别不大,仅局部地区因储层较差导致产能相对较差。综合分析认为储层物性横向变化相对较小。

Mishrif 组 MB₂¹ 段纵向非均质性强^[11],是制约原油采出程度的关键因素。其非均质性主要表现为上部 MB₂¹-D1 小层与下部小层物性差异较大。已有的生产测井资料显示(图 6),MB₂¹-D1 小层与下部小层同时射开时,产能贡献主要来自 MB₂¹-D1 顶部储层。因此如何提高 MB₂¹ 物性较差储层的采油效率,将是未来油田开发需要解决的关键问题之一。

3 储层发育主控因素

影响 Mishrif 组 MB₂¹ 段储层发育的主要因素包括沉积作用、差异成岩作用和构造改造作用^[12-17]。沉积作用和成岩作用控制了储层发育和非均质性,构造改造作用改善了局部储层物性。

3.1 沉积作用

前人研究表明^[18-19], Mishrif 组 MB₂¹ 段储层主要形成于四级海平面变化旋回的海退中晚期,其沉积演化主要受相对海平面升降控制,储层发育具有鲜明的层位性。其中礁滩相主要形成于相对海平面下降的 D1, D2, D3 沉积期(图 4),由于其形成于高能带,因此淘洗较为干净,粒间孔隙发育,连通较好,从而构成了 MB₂¹ 储层的 3 个相对高渗层。而在相对海平面上升期,则以开阔潮下环境的泥粒灰岩发育为特征,储层物性相对较差。

同时由于微地貌的起伏,在微地貌高地,为礁滩相沉积的有利区,发育物性相对较好的礁灰岩或颗粒灰岩储层,而在相对低地则以滩间或开阔潮下环境的泥粒灰岩发育为特征,储层物性相对较差。

3.2 成岩作用

成岩作用对储层发育及非均质性的影响主要以差异溶蚀作用和差异胶结作用为主^[20-24],与相对海平面升降关系密切。在相对海平面下降过程中,沉积物主要为颗粒灰岩,以大气淡水淋滤作用为主,胶结作用不发育,见少量的接触胶结或新月形胶结(图 3a,b),易形成孔、渗较好层段。其中 MB₂¹ 顶部暴露不整合面的存在,是 MB₂¹ 上部高渗储层形成的重要因素。在海平面相对上升时期,沉积物主要为低能泥粒灰岩,受上覆沉积物静压力的影响,发育体积缩小过程中过饱和流体的微晶胶结(图 3c),从而因压实和胶结成岩作用,造成孔隙度小、连通性差,形成差储层或非储层。

3.3 构造作用

构造作用对储层的改造主要为微裂缝的发育^[24-26]。虽然在研究区内无明显大断裂发育,但在多口井的岩心中可观察到微裂缝的发育,镜下也可见局部发育开启的有效微裂缝。这些微裂缝的发育对储集空间的贡献不大,其最为重要的作用是形成渗流通道,改善了局部储层的物性。

4 结论

(1) Mishrif 组 MB₂¹ 段储层岩石类型主要有生物礁灰岩、生屑颗粒灰岩、生屑似球粒颗粒灰岩及生屑似球粒泥粒灰岩。储集空间类型为原生粒间孔、次生粒间溶孔、铸模孔、基质微孔及少量小型溶蚀孔洞和微裂缝。沉积环境属于碳酸盐岩开阔台地相,发育有台内滩、台内礁和开阔潮下亚相。

(2) 储层物性纵向变化大、层内非均质性严重。受沉积作用和成岩作用控制,纵向上形成了 MB₂¹-D1, MB₂¹-D2, MB₂¹-D3 等 3 个相对高渗层,而 MB₂¹-D1D, MB₂¹-D2D, MB₂¹-D3D 则主要发育差储层或非储层。受构造作用控制,局部发育的微裂缝能够改善储层的物性。在后续开发过程中,应充分考虑 MB₂¹ 段层内非均质性,优化采油井和注水井射孔位置,以期提高该套油层的采出程度。

参考文献:

[1] Halbouty M T. Giant oil and gas fields of the decade: 1990-1999 [M]. AAPG Memoir 78. Tulsa: AAPG, 2003: 1-3.

[2] 杜洋, 衣英杰, 辛军, 等. 伊朗 SA 油田 Sarvak 油藏大幅度倾斜油水界面成因探讨 [J]. 石油实验地质, 2015, 37(2): 187-193.

Du Yang, Yi Yingjie, Xin Jun, et al. Genesis of large-amplitude tilting oil-water contact in Sarvak Formation in South Azadegan Oilfield, Iran [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015,

37(2): 187-193.

- [3] 杜洋, 崔毅, 郑丹, 等. 伊拉克中部白垩系油藏油源及运移特征 [J]. 石油实验地质, 2016, 38(1): 76-82.
- Du Yang, Cui Yi, Zheng Dan, et al. Oil sources and migration characteristics of Cretaceous reservoirs in the Central Iraq [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 76-82.
- [4] Dunham R J. Classification of carbonate rocks according to their depositional textures [M]. AAPG Memoir 1. Tulsa: AAPG, 1962: 108-121.
- [5] Alsharban A S. Facies variation, diagenesis and exploration potential of the Cretaceous rudist-bearing carbonates of the Arabian Gulf [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(4): 531-550.
- [6] Aqrabi A A M, Thehni G A, Sherwani G H, et al. Mid-Cretaceous rudist-bearing carbonates of Mishrif Formation: An important reservoir sequence in the Mesopotamian Basin [J]. Journal of Petroleum Geology, 1998, 21(1): 57-82.
- [7] Al-Ameri T K, Al-Khafaji A J, Zumberge J. Petroleum system analysis of the Mishrif reservoir in the Ratawi, Zubair, north and south Rumaila oil fields, southern Iraq [J]. GeoArabia, 2009, 14(4): 91-108.
- [8] Aqrabi A A M, Goff J C, Horbury A D, et al. The petroleum geology of Iraq [M]. Bucks: Scientific Press, 2010: 161-238.
- [9] 高计县, 田昌炳, 张为民, 等. 波斯湾盆地中白垩统 Mishrif 组碳酸盐岩储层特征及其发育模式 [J]. 地质科学, 2013, 48(1): 304-316.
- Gao Jixian, Tian Changbing, Zhang Weimin, et al. Reservoir characteristics and development model of Middle Cretaceous Mishrif Formation, Persian Gulf Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2013, 48(1): 304-316.
- [10] 臧克一, 卢立泽, 蒋利平, 等. 伊拉克 AH 油田孔隙型碳酸盐岩油藏压力恢复曲线特征 [J]. 断块油气田, 2014, 21(6): 762-766.
- Zang Keyi, Lu Lize, Jiang Liping, et al. Pressure buildup curve behavior of pore type carbonate reservoir in AH Oilfield of Iraq [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(6): 762-766.
- [11] 邓亚, 郭睿, 田中元, 等. 碳酸盐岩储集层隔夹层地质特征及成因: 以伊拉克西古尔纳油田白垩系 Mishrif 组为例 [J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(1): 136-144.
- Deng Ya, Guo Rui, Tian Zhongyuan, et al. Geologic features and genesis of the barriers and intercalations in carbonates: A case study of the Cretaceous Mishrif Formation, West Qurna oil field, Iraq [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(1): 136-144.
- [12] Smith L B, Eberli G P, Masferro J L, et al. Discrimination of effective from ineffective porosity in heterogeneous Cretaceous carbonates, Al Ghubar field, Oman [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(9): 1509-1529.
- [13] Al-Dabbas M, Al-Jassim J, Al-Jumaily S. Depositional environments and porosity distribution in regressive limestone reservoirs of the Mishrif Formation, Southern Iraq [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2010, 3(1): 67-78.
- [14] 徐德军, 张文才, 杜秀娟, 等. 伊朗扎格罗斯盆地白垩质灰岩储层特征及开发建议 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(1): 15-18.
- Xu Dejun, Zhang Wencai, Du Xiujian, et al. Reservoir characteristics and development suggestion of chalky limestone in the

- Zagros Basin, Iran [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2010, 32(1): 15-18.
- [15] 周长迁,张庆春,杨沛广,等. 美索不达米亚盆地成藏主控因素分析[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(3): 296-301.
Zhou Changqian, Zhang Qingchun, Yang Peiguang, et al. Main controlling factors of hydrocarbon accumulation in Mesopotamia Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(3): 296-301.
- [16] 邓虎成,周文,郭睿,等. 伊拉克艾哈代布油田中—下白垩统碳酸盐岩储层孔隙结构及控制因素[J]. *岩石学报*, 2014, 30(3): 801-812.
Deng Hucheng, Zhou Wen, Guo Rui, et al. Pore structure characteristics and control factors of carbonate reservoirs; The Middle-Lower Cretaceous Formation, Al Hardy Cloth Oilfield, Iraq [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(3): 801-812.
- [17] 闫建平,司马立强,谭学群,等. 伊朗 Zagros 盆地西南部白垩系 Sarvak 组碳酸盐岩储层特征[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(3): 409-415.
Yan Jianping, Sima Liqiang, Tan Xuequn, et al. Carbonate reservoir characteristics of the Cretaceous Sarvak Formation in southwestern Zagros Basin, Iran [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(3): 409-415.
- [18] Sadooni F N, Alsharhan A S. Stratigraphy, microfacies, and petroleum potential of Mauddud Formation (Albian-Cenomanian) in the Arabian Gulf Basin [J]. *AAPG Bulletin*, 2003, 87(10): 1653-1680.
- [19] Al-Qayim B. Sequence stratigraphy and reservoir characteristics of the Turonian-Coniacian Khasib formation in Central Iraq [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2010, 33(4): 387-403.
- [20] 何江,冯春强,马岚,等. 风化壳古岩溶型碳酸盐岩储层成岩作用与成岩相[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(1): 8-16.
He Jiang, Feng Chunqiang, Ma Lan, et al. Diagenesis and diagenetic facies of crust-weathered ancient karst carbonate reservoirs [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(1): 8-16.
- [21] 雷川,陈红汉,苏奥,等. 碳酸盐岩埋藏溶蚀研究进展[J]. *断块油气田*, 2014, 21(2): 165-170.
Lei Chuan, Chen Honghan, Su Ao, et al. Study progress on buried dissolution in carbonate rock [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2014, 21(2): 165-170.
- [22] 盛贤才,郭战峰,冯畅,等. 鄂西渝东地区下寒武统石龙洞组成岩作用特征[J]. *特种油气藏*, 2015, 22(4): 4-7.
Sheng Xiancai, Guo Zhanfeng, Feng Chang, et al. Diagenesis features of Lower Cambrian Shilongdong Fm in the western Hubei and eastern Chongqing region [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2015, 22(4): 4-7.
- [23] 张峰,崔健健,邵先杰,等. 高集油田阜宁组湖相碳酸盐岩储层特征[J]. *断块油气田*, 2015, 22(3): 296-300.
Zhang Feng, Cui Jianjian, Shao Xianjie, et al. Characteristics of Funing Formation lacustrine carbonate reservoir in Gaoji Oilfield [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2015, 22(3): 296-300.
- [24] 高计县,田昌炳,张为民,等. 伊拉克鲁迈拉油田 Mishrif 组碳酸盐岩储层特征及成因[J]. *石油学报*, 2013, 34(5): 843-852.
Gao Jixian, Tian Changbing, Zhang Weimin, et al. Characteristics and genesis of carbonate reservoir of the Mishrif Formation in the Rumaila oil field, Iraq [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 34(5): 843-852.
- [25] 李莹,王怀洪,巩固,等. 塔河油田 S80 单元缝洞体分布规律及发育模式[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(6): 30-32.
Li Ying, Wang Huaihong, Gong Gu, et al. The fractured-vuggy structural model of S80 unit, Tahe oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(6): 30-32.
- [26] 张涛,余刚,李苗,等. A 油田白垩系碳酸盐岩裂缝型储层综合预测技术研究[J]. *石油物探*, 2015, 54(6): 770-779.
Zhang Tao, She Gang, Li Miao, et al. Multi-disciplinary integration prediction of fractured carbonate reservoir in A Oilfield, Zagros Basin [J]. *Geophysical Prospection for Petroleum*, 2015, 54(6): 770-779.

(编辑 韩 彧)

(上接第 359 页)

- [3] Миронов А Г, Карманов Н С, Миронов А А. Специфика геологии и разработки Тимано - Печорской нефтегазоносной провинции [J]. *Геология и геофизика*, 2008: 984-989.
- [4] Ismail-Zadeh A T, Kostyuchenko S L, Naimark B M. The Timan-Pechora Basin (northeastern European Russia): Tectonic subsidence analysis and a model of formation mechanism [J]. *Tectonophysics*, 1997, 283(1/4): 205-218.
- [5] O'Leary N, White N, Tull S, et al. Evolution of the Timan-Pechora and South Barents Sea basins [J]. *Geological Magazine*, 2004, 141(2): 141-160.
- [6] Lindquist S J. The Timan-Pechora Basin province of northwest arctic Russia; Domanik-Paleozoic total petroleum system [R]. Open-File Report 99-50-G. Denver, Colorado: U. S. Geological Survey, 1999.
- [7] Kharyaga field reservoir evaluation report [R]. Timan-Pechora Basin, C&C Reservoirs, 2004.
- [8] Vuktyl field reservoir evaluation report [R]. Timan-Pechora Basin, C&C Reservoirs, 2004.

(编辑 徐文明)