

柴达木盆地北缘马西气藏储集层研究

甘贵元¹, 张建英², 宋兵¹, 郝斌³, 王牧¹, 姚熙海¹, 张治国¹

(1. 中国石油青海油田公司勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736202; 2. 东方地球物理公司青海物探公司敦煌研究分院, 甘肃敦煌 736202; 3. 中国石油青海油田公司采油一厂, 青海茫崖 817500)

摘要:柴达木盆地北缘马西气藏古近系渐新统下干柴沟组下段储集层, 形成于辫状河三角洲沉积环境, 储集层岩石类型主要为细粒砂岩、中粒砂岩和粉砂岩。砂岩以岩屑长石砂岩为主, 其次为长石岩屑砂岩。碎屑岩颗粒分选性中等—好, 胶结类型以接触—孔隙式为主, 接触关系以点接触为主。砂岩储集孔隙类型以原生粒间孔为主, 属于大孔隙, 以粗喉道为主。储集层孔隙度平均为25.21%, 渗透率平均为 $963.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 综合评价为高孔高渗的好储集层。

关键词:砂岩储集层; 综合评价; 马西气藏; 柴达木盆地北缘

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Study of Maxi gas reservoir in northern margin of Qaidam Basin

Gan Guiyuan¹, Zhang Jianying², Song Bing¹, Xi Bin³, Wang Mu¹, Yao Xihai¹, Zhang Zhiguo¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202, China;
2. Dunhuang Branch, BGP, Dunhuang, Gansu 736202, China;
3. No.1 Oil Production Plant, Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Mangya, Qinghai 817500, China)

Abstract: The gas reservoir in the lower part of the Lower Ganchaigou Formation (E_3^1) in Oligocene in the Maxi gas pool in the northern margin of the Qaidam Basin was formed in braided river delta sedimentary environment. The rock type of reservoir mainly includes fine sandstone, medium sandstone and siltstone. Lithic feldspar sandstones account for the largest proportion, while feldspar lithic sandstones the second. The separation of fragment grains is medium or good. Contact or pore cementations are common. Point contact is the leading contact type. Primary intergranular pores are dominant in sandstone reservoirs, featured by big pores and coarse throats. The average porosity and permeability of the reservoir are 25.21% and $963.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, respectively, indicating for a good reservoir with high porosity and permeability.

Key words: sandstone reservoir stratum; overall estimation; Maxi gas pool; northern margin of Qaidam Basin

柴达木盆地北缘(简称“柴北缘”)是以中下侏罗统泥页岩为烃源岩, 侏罗系、白垩系、古近系、新近系砂岩为储集层的含油气区^[1-9]。位于柴北缘中段的马海—大红沟凸起, 主要沉积了一套不具备生烃条件的古近系—新近系三角洲—泛滥平原相^[10-14]红灰色砂泥岩, 储集层十分发育, 成因类型多。已发现鱼卡、马北、南八仙3个油田和马海1个气田^[15-16], 油气来自周缘下倾方向的鱼卡凹陷和伊北凹陷。马海—马北下干柴沟组具有最好的砂岩储集层^[17], 而马西气藏是南八仙—马海—马北背斜带的一个局部构造气藏, 其东南与马海气田相接, 东北与马北一号油藏相邻, 是以侏罗系煤系地层为烃源岩的纯气藏。三维地震解释表明, 马西

构造为受断层控制的长轴背斜, 在 T_4 反射层构造高点埋深1 045 m, 圈闭面积20.66 km²。马西气藏的气层纵向上分布在500~1 300 m, 主力气层纵向上集中分布于下干柴沟组下段(E_3^1), 气层厚度最小为0.9 m, 最大为11.3 m, 平均为5.05 m。本文着重对储集层特征进行论述, 并进行储集层综合评价。

1 地层岩性

马西构造自上而下共钻遇中新统上干柴沟组(N_1)、渐新统下干柴沟组上段(E_3^2)、下干柴沟组下段(E_3^1)、古始新统路乐河组(E_{1+2})、基岩共5套地层, 其中 E_{1+2} 与基岩为不整合接触。新近系—古近系地层由砂泥岩组成, 基岩岩性为杂色花岗片麻岩。

气藏分布的下干柴沟组下段,岩性以棕红色泥岩、泥质粉砂岩为主,夹棕红色、灰色细砂岩与少量的棕红色砂质泥岩。底部有近 25 m 的杂色细砾岩。

2 储集层特征

2.1 岩石学特征

马西地区古近系主要发育辫状河三角洲前缘亚相的河口坝、远砂坝、席状砂微相沉积及辫状河三角洲平原亚相分流河道、分流间湾微相沉积。

通过对马西气藏岩心观察,结合岩石薄片鉴定、铸体图像分析、粒度资料等进行综合分析,表明钻遇的下干柴沟组下段储集层岩性以细砂岩、中砂岩和粉砂岩为主(图 1)。颗粒直径主要分布区间为 0.06~1.0 mm。

储集层砂岩类型主要为岩屑长石砂岩,其次为长石岩屑砂岩。碎屑颗粒的矿物成分主要以石英、长石和岩屑组成,碎屑颗粒分选性中等—好,磨圆度为次棱—次圆。储集层胶结类型以接触—孔隙式为主,接触关系以点接触为主。

2.2 孔隙类型及结构

根据马西气藏马西 101 井铸体薄片图像分析,储集层孔隙类型主要为粒间孔,胶结类型以孔隙胶结为主(图 2),最大粒径在 0.37~3.0 mm,平均为 1.0 mm,主要粒径区间为 0.06~1.8 mm。

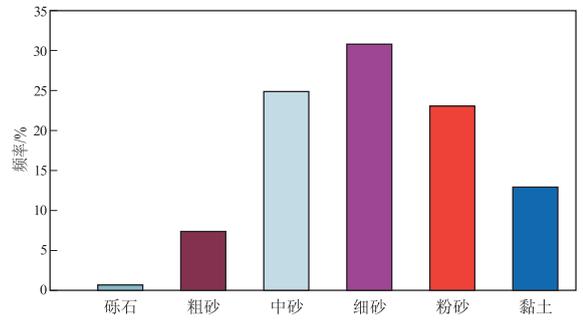
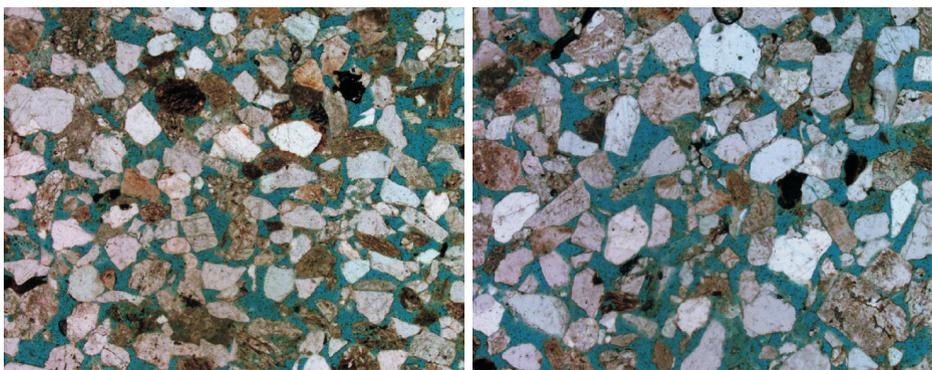


图 1 马西气藏下干柴沟组下段储集层粒度分布频率
Fig.1 Frequency plots of granulometric class of reservoir in lower part of Lower Ganchaigou Formation in Oligocene in Maxi gas pool

根据铸体薄片分析统计,马西气藏储集层砂岩孔隙面孔率在 6.26%~26.38%,平均为 19.39%,平均孔隙直径为 97.3 μm,属于大孔隙;而喉道宽度最小为 1.7 μm,最大为 109.07 μm,平均为 15.52 μm,以粗喉道为主。

根据马西气藏毛管压力曲线分布特征参数统计(表 1),830.19~838.19 m 井段排驱压力(P_d)平均为 0.034 MPa,饱和度中值压力(P_{50})平均为 0.179 MPa,最大连通半径(R_{max})平均为 25.516 μm,中值半径(R_{50})平均为 8.608 μm;退汞效率(w)平均为 4.824%。871.09~879.09 m 井段排驱压力平均为 0.266 MPa,饱和度中值压力平均为 10.202 MPa,最大连通半



a. 马西101井, 834.27 m, 蓝色为粒间孔

b. 马西101井, 965.1 m, 蓝色为粒间孔

图 2 马西气藏储集层粒间孔特征

Fig.2 Characteristics of intergranular pores in reservoir in Maxi gas pool

表 1 马西气藏马西 101 井储集层孔隙结构参数统计

Table 1 Statistics of pore structure parameters of reservoir from well Maxi101 in Maxi gas pool

井段/m	P_d /MPa	P_{50} /MPa	R_{max} /μm	R_{50} /μm	S_{Hgmax} /%	w /%
830.19~838.19	0.017~0.098	0.056~1.89	7.505~44.406	0.389~13.157	62.04~92.3	3.42~9.16
	0.034(20)	0.179(20)	25.516(20)	8.608(20)	78.49(20)	4.824(20)
871.09~879.09	0.214~0.317	3.503~16.9	2.317~3.438	0.044~0.21	75.13~75.57	34.13~36.57
	0.266(2)	10.202(2)	2.878(2)	0.127(2)	75.35(2)	35.35(2)

注:表中分式含义 最小值~最大值
平均值(样品数)。

径平均为 2.878 μm , 中值半径平均为 0.127 μm , 退汞效率平均为 35.35%。整体上反映了孔隙喉道以粗喉道为主, 退汞效率偏低的特征(图 3)。

2.3 储集层物性及关系

马西气藏马西 101 井储集层物性分析表明, 砂岩储集层孔隙度最小为 4.5%, 最大为 33.4%, 平均为 25.21%, 一般在 20% ~ 30%; 渗透率最小为 $0.025 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最大为 $2749 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $963.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 一般在 $(400 \sim 2500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 4)。

从岩心分析渗透率与孔隙度关系(图 5)分析, 岩心分析渗透率与孔隙度具有较好的关系。

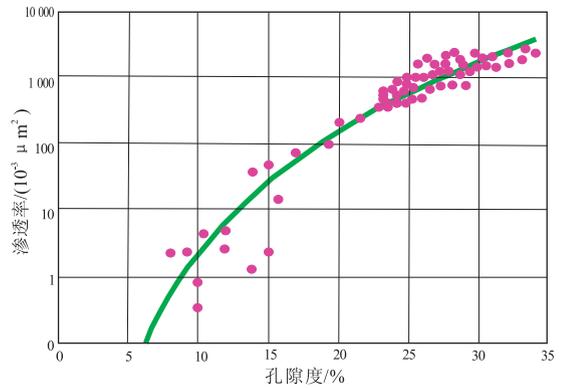


图 5 马西气藏储集层渗透率与孔隙度关系

Fig.5 Relationship between porosity and permeability of reservoir in Maxi gas pool

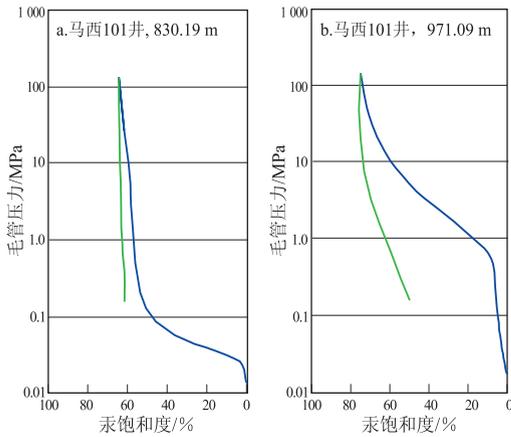


图 3 马西气藏储集层典型压汞曲线特征

Fig.3 Characteristics of mercury penetration curve of reservoir in Maxi gas pool

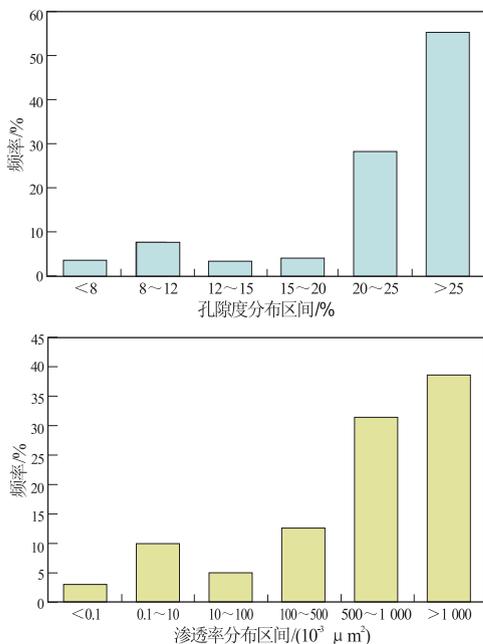


图 4 马西气藏储集层孔隙度、渗透率分布频率

Fig.4 Distribution frequency of porosity and permeability of reservoir in Maxi gas pool

3 储集层评价

根据岩心样品分析资料统计, 储集层孔隙度最大为 33.4%, 最小为 4.5%, 平均为 25.21%, 属高孔隙储集层。渗透率最大为 $2749 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最小为 $0.025 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $963.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属高渗透储集层。

最大连通孔喉半径(R_d)反映对流体起主要作用的最大连通孔喉之粗细, 其值越大, 表明岩石的渗透性越强。实验样品一般 $R_d \geq 5 \mu\text{m}$, 平均最大连通孔喉半径 23.458 μm , 为好储集层。

排驱压力(P_d)反映岩石孔喉的集中程度, 同时反映这种集中孔喉的大小, 其值越大, 表示储集性能越差。实验样品一般 $P_d \leq 0.1 \text{ MPa}$, 平均排驱压力为 0.055 MPa, 为好储集层。

最大进汞饱和度(S_{Hgmax})反映岩石颗粒大小、均匀程度、胶结类型、孔隙度、渗透率等一系列综合指标。毛管压力实验样品平均最大进汞饱和度为 78.205%, 为好储集层。

饱和度中值压力(P_{50})和饱和度中值半径(R_{50})是储层产液能力的重要标志, 一般 P_{50} 越大, R_{50} 越小, 表明岩石越致密, 产液能力越差。我们把 $P_{50} < 1 \text{ MPa}$, $R_{50} > 1 \mu\text{m}$ 作为好储集层的标准。22 块岩心样品平均 P_{50} 为 0.179 MPa, R_{50} 为 8.608 μm , 为好储集层。

综上所述, 马西构造 E_3 气藏砂岩储集层为高孔、高渗、大孔隙、粗喉道、低排驱压力、高进汞饱和度的好储集层。

4 结论

马西气藏分布在古近系渐新统下干柴沟组下段地层中, 其天然气储集层主要为细—中粒砂岩和粉砂岩。以岩屑长石砂岩为主, 次为长石岩屑砂岩, 分

选中等—好,以点接触胶结和孔隙式胶结为主。主要储集空间为原生粒间孔,具有大孔隙、粗喉道的孔喉结构,是高孔隙度、高渗透率的好储集层。

参考文献:

- [1] 胡受权,曹运江,黄继祥,等.柴达木盆地侏罗纪盆地原型及其形成与演化探讨[J].石油实验地质,1999,21(3):189-194.
Hu Shouquan,Cao Yunjiang,Huang Jixiang,et al.Discussion on formation and evolution of Jurassic basin-prototype of Qaidam Basin[J].Experimental Petroleum Geology,1999,21(3):189-194.
- [2] 姜正龙,孙德君,秦建中,等.柴达木盆地北缘下侏罗统含油气系统研究[J].石油勘探与开发,2001,28(6):9-11.
Jiang Zhenglong,Sun Dejun,Qin Jianzhong,et al.A study on the petroleum system of Lower Jurassic in the northern part of Qaidam Basin[J].Petroleum Exploration and Development,2001,28(6):9-11.
- [3] 周建勋,徐风银,胡勇.柴达木盆地北缘中、新生代构造变形及其对油气成藏的控制[J].石油学报,2003,24(1):19-24.
Zhou Jianxun,Xu Fengyin,Hu Yong.Mesozoic and Cenozoic tectonism and its control on hydrocarbon accumulation in the northern Qaidam Basin of China[J].Acta Petrolei Sinica,2003,24(1):19-24.
- [4] 姜振学,庞雄奇,罗群,等.柴北缘西部油气成藏的主控因素[J].石油与天然气地质,2004,25(6):692-695.
Jiang Zhenxue,Pang Xiongqi,Luo Qun,et al.Main factors controlling hydrocarbon accumulation in western part of northern edge of Qaidam Basin[J].Oil & Gas Geology,2004,25(6):692-695.
- [5] 张正刚,袁剑英,陈启林.柴北缘地区油气成藏模式与成藏规律[J].天然气地球科学,2006,17(5):649-652.
Zhang Zhenggang,Yuan Jianying,Chen Qilin.Reservoiring patterns and accumulation regularity in northern of Qaidam Basin[J].Natural Gas Geoscience,2006,17(5):649-652.
- [6] 马立协,陈新领,张敏,等.柴北缘逆冲带侏罗系油气成藏主控因素分析[J].中国石油勘探,2006,11(6):22-25.
Ma Lixie,Chen Xinling,Zhang Min,et al.Analysis on main control factors of Jurassic oil-gas reservoir-forming in thrusting belt in northern margin of Qaidam Basin[J].China Petroleum Exploration,2006,11(6):22-25.
- [7] 曲江秀,高长海,查明.柴达木盆地北缘天然气成藏模式及勘探方向[J].新疆地质,2008,26(4):377-381.
Qu Jiangxiu,Gao Changhai,Zha Ming.Natural gas pool formation models and exploration direction in the northern margin of Qaidam Basin[J].Xinjiang Geology,2008,26(4):377-381.
- [8] 付锁堂,汪立群,徐子远,等.柴北缘深层气藏形成的地质条件及有利勘探区带[J].天然气地球科学,2009,20(6):841-846.
Fu Suotang,Wang Liqun,Xu Ziyuan,et al.Geological conditions of deep gas pools and their favorable prospects[J].Natural Gas Geoscience,2009,20(6):841-846.
- [9] 罗群.柴北缘西部油气藏分布与成藏特征[J].新疆石油地质,2010,31(1):10-13.
Luo Qun.The distribution of petroleum reservoirs and the hydrocarbon accumulation in west part of northern margin of Qaidam Basin[J].Xinjiang Petroleum Geology,2010,31(1):10-13.
- [10] 杨永泰,张宝民,李伟,等.柴达木盆地北缘侏罗系层序地层与沉积相研究[J].地学前缘,2000,7(3):145-151.
Yang Yongtai,Zhang Baomin,Li Wei,et al.Study of Jurassic stratigraphic sequence and sedimentary facies in north of Qaidam Basin[J].Earth Science Frontiers,2000,7(3):145-151.
- [11] 王鹏,赵澄林.柴达木盆地北缘地区第三系碎屑岩储层沉积相特征[J].石油大学学报:自然科学版,2001,25(1):12-15.
Wang Peng,Zhao Chenglin.Characteristics of Tertiary reservoir sedimentary facies in the north part of Qaidam Basin[J].Journal of the University of Petroleum,China,2001,25(1):12-15.
- [12] 李凤杰,孟立娜,方朝刚,等.柴达木盆地北缘古近纪—新近纪古地理演化[J].古地理学报,2012,14(5):596-606.
Li Fengjie,Meng Lina,Fang Chaogang,et al.Palaeogeographic evolution of the Paleogene and Neogene in north margin of Qaidam Basin[J].Journal of Palaeogeography,2012,14(5):596-606.
- [13] 陈吉,谢梅,史基安,等.柴北缘马北地区下干柴沟组储层特征[J].天然气地球科学,2011,22(5):821-825.
Chen Ji,Xie Mei,Shi Ji'an,et al.Reservoir characteristics of Xiaganchaigou Formation in Mabei area of northern Qaidam Basin[J].Natural Gas Geoscience,2011,22(5):821-825.
- [14] 陈吉,史基安,龙国徽,等.柴北缘古近系—新近系沉积相特征及沉积模式[J].沉积与特提斯地质,2013,33(3):16-26.
Chen Ji,Shi Ji'an,Long Guohui,et al.Sedimentary facies and models for the Palaeogene-Neogene deposits on northern margin of the Qaidam Basin[J].Sedimentary Geology and Tethyan Geology,2013,33(3):16-26.
- [15] 刘元,罗群,庞雄奇,等.柴达木盆地马海气田地质特征及运聚成藏机理模式[J].石油实验地质,2005,27(2):158-163.
Liu Yuan,Luo Qun,Pang Xiongqi,et al.Geologic feature and migration-accumulation mechanism of the Mahai Gas Field, the Qaidam Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2005,27(2):158-163.
- [16] 汪立群,徐风银,庞雄奇,等.马海—大红沟凸起油气勘探成果与柴达木盆地北缘的勘探方向[J].石油学报,2005,26(3):22-25.
Wang Liqun,Xu Fengyin,Pang Xiongqi,et al.Potential exploration targets of the northern margin of Qaidam Basin and suggested from the breakthrough of Mahai-Dahonggou Uplift[J].Acta Petrolei Sinica,2005,26(3):22-25.
- [17] 李凤杰,刘琪,刘殿鹤,等.柴达木盆地北缘下干柴沟组储层特征及影响因素分析[J].天然气地球科学,2009,20(1):44-49.
Li Fengjie,Liu Qi,Liu Dianhe,et al.Characteristics and influential factors of Low-Ganchaigou Formation reservoir in north edge of Qaidam Basin[J].Natural Gas Geoscience,2009,20(1):44-49.

(编辑 韩 彧)