

川东北陆相储层裂缝特征差异性及对产能的影响

黎静容¹, 朱桦², 冯晓明¹, 程洪亮¹, 颜晓¹

(1. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 成都 610041;

2. 中国石化西南石油工程有限公司地质录井分公司, 四川绵阳 621000)

摘要:川东北地区陆相储层均为致密性储层,但不同区块、层位裂缝发育的特征及对产能的影响具有差异性。选取元坝东、元坝西、马路背3个区块,综合岩心、薄片、测井、试气及试采等资料,对各区块储层裂缝发育特征、裂缝对产能的影响进行对比研究。结果表明:元坝东、元坝西部主要发育剪切缝,均以低角度裂缝为主,宏观及微观裂缝密度均较低,其中元坝东部裂缝有效性较高,元坝西区块裂缝有效性较低。马路背地区发育剪切缝、张性缝2种力学成因的裂缝,以高角度缝为主,宏观及微观裂缝密度均较高,裂缝有效性较高。宏观裂缝的倾角、有效性、密度综合影响着气井的初期产能,集中发育的网状微观裂缝或微观裂缝溶蚀作用可改善储层基质,是气井稳产的关键。

关键词:宏观裂缝;微观裂缝;产能;马路背地区;元坝西部;元坝东部;川东北地区

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Differences of fracture characteristics and the influence on productivity in the northeastern Sichuan continental basin

Li Jingrong¹, Zhu Hua², Fen Xiaoming¹, Cheng Hongliang¹, Yan Xiao¹

(1. Exploration and Production Research Institute of SINOPEC Southwest Petroleum Company, Chengdu, Sichuan 610041, China;
2. Geological Logging Branch of SINOPEC Southwest Petroleum Engineering Limited Company, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: Reservoirs in the northeastern Sichuan continental basin are all tight reservoirs. However, fracture characteristics and their influence on productivity are different among various areas and formations. Comparisons were made based on core, thin section, logging, gas testing and producing data collected from the eastern Yuanba, western Yuanba and Malubei blocks. The eastern and western Yuanba blocks mainly developed shearing fractures with low angle and low density. Fractures in the eastern Yuanba block are more effective than those in the western Yuanba block. The Malubei block developed both shearing and extensive fractures of mechanical geneses, with high angle, density and permeability. The angle, effectiveness and density of macro fractures controlled the productivity of gas wells. A dense micro fracture network or micro fracture dissolution improves the reservoir matrix and determined if a gas well had a stable production.

Key words: macro fracture; micro fracture; productivity; Malubei block; western Yuanba block; eastern Yuanba block; northeastern Sichuan Basin

研究区位于四川盆地东北部,构造上属于川中平缓构造带的一部分,北临米仓山—大巴山前缘冲断带、东接川东高陡构造带、西接龙门山前陆盆地(图1)。近几年来,在川东北陆相勘探开发过程中,马路背地区须二气藏、元坝西部须三气藏、元坝东部须四气藏均获得工业气流,但产能差异较大。前期研究认为3个区块储层均为致密性储层,其产能的高低受裂缝的影响^[1-5]。但整个区块面积大,各区块构造、断裂特征具有差异性,导致裂缝发育类

型、规模、特征等均具有差异性,对产能的贡献也不同。本文综合运用岩心、测井、薄片、试气及野外裂缝调查等资料,对马路背地区、元坝西部、元坝东部裂缝的发育特征进行了研究,并横向进行了对比;结合各区块产能特征分析了裂缝对产能的影响。

1 地质概况

元坝区块与通南巴区块毗邻,其中马路背地区位于通南巴构造带北部,为一走向由南向北呈NE

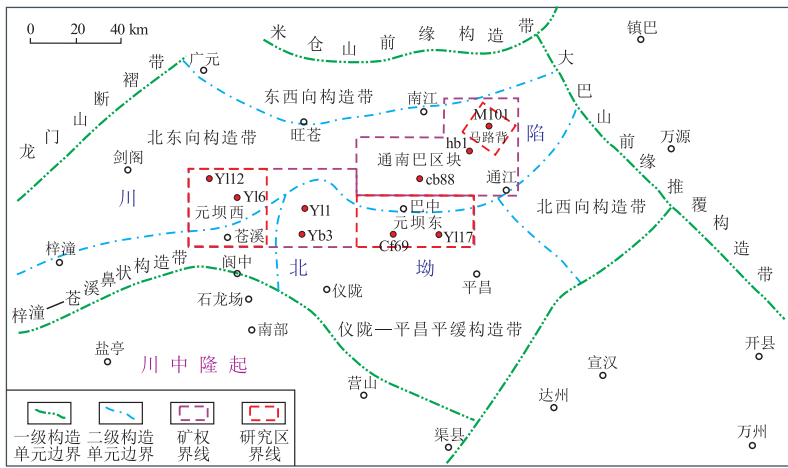


图1 川东北地区构造分区及研究区位置

Fig.1 Tectonic units in the northwestern Sichuan Basin and location of study area

向至 NNE 向的大型背斜;元坝东部位于通江凹陷带;元坝西部位于九龙山背斜构造带及苍溪—巴中低缓构造带^[6-10]。元坝西部须三气藏岩性为砾岩、砂质砾岩夹中粗粒钙屑砂岩,平均孔隙度 2.6%,平均渗透率 $0.015 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。元坝东部须四气藏岩性主要为岩屑砂岩、长石岩屑砂岩,局部岩屑石英砂岩,平均孔隙度 2.56%,平均渗透率 $0.018 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。马路背地区须二气藏岩性以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、长石岩屑砂岩、石英砂岩为主,平均孔隙度 2.44%,平均渗透率 $0.025 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。3 个区块储层均为典型的低孔低渗透致密储层。

2 裂缝成因类型差异性

川东北地区发育 2 种地质成因的构造裂缝,一种为构造挤压作用下形成的剪切缝,一种为地层褶皱变形派生的拉张作用下形成的张性缝^[11-12]。其中,主要以剪切缝为主。元坝东部剪切缝表现为高、低角度 2 种类型剪切裂缝。其中高角度剪切裂缝产状稳定、延伸长、缝面平直光滑,大部分未充填,少部分见方解石半充填、全充填(图 2a)。低角度剪切裂缝倾角一般为 $0^\circ \sim 15^\circ$,裂缝产状与层理

面近一致,但不完全平行,有 10° 左右的交角;裂缝面不平直,通常呈马蹄形(图 2b)。此类低角度剪切裂缝是构造挤压作用下断层的逆冲推覆作用造成的近水平剪切作用下形成。元坝西部剪切缝尺度较小,发育条数多,但方向各异,开度较小(图 2c)。马路背地区剪切缝切穿深度大、缝面光滑、缝面常见擦痕及阶步等特征(图 2d)。

张性缝仅在马路背地区发育,张性缝往往角度高(大于 85°),将岩心竖直劈开,延伸规模 2 m 以上。裂缝面容易发生弯曲或呈锯齿状延展,缝面粗糙不平,缝面上的小阶梯为裂缝面锯齿状延伸的特征(图 2e, f)。结合区域构造分析,此类裂缝是由于构造挤压作用下地层发生褶皱、岩层弯曲变形派生的拉张作用形成,为垂直于裂缝面和扩展方向的张应力形成的。

3 裂缝参数差异性

3.1 裂缝倾角

元坝东部主要发育水平及低角度裂缝,占 80%,高角度及垂直缝仅占 20%。元坝西部以水平缝和低角度缝为主,分别占 63.3%和 25.4%。马路

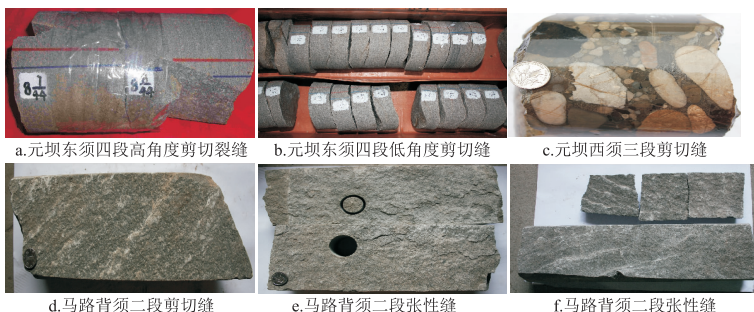


图2 川东北陆相储层岩心裂缝分布

Fig.2 Fractures in cores, northeastern Sichuan continental basin

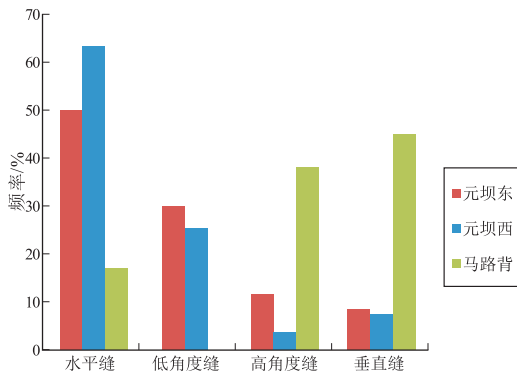


图3 川东北陆相储层裂缝倾角分布

Fig.3 Fracture angle distribution, northeastern Sichuan continental basin

背以垂直及高角度裂缝为主,垂直缝占45%,高角度裂缝占38%,水平缝多为成岩缝,仅占17%(图3)。

3.2 裂缝走向

成像测井资料统计结果显示,元坝东部主要发育北西西、北东东向2组裂缝,元坝西部主要发育北东向、北西向2组裂缝,马路背地区主要发育北北西、北东东向2组裂缝(图4)。

3.3 裂缝有效性

元坝东部裂缝的有效性较高,半充填及未充填缝占83%。元坝西部裂缝有效性最低,未充填及半充填缝占57%,全充填缝占43%。马路背地区裂缝的有效性较高,半充填及未充填缝占82%,其中垂直缝的有效性更高,均为半充填及未充填缝(图5)。

3.4 裂缝发育密度

3.4.1 宏观裂缝

宏观裂缝的密度统计是基于岩心观察的统计结果,对3个区块取心井裂缝统计结果显示,各区块宏观裂缝发育密度有差异性,马路背地区裂缝线密度最高,其次为元坝东,元坝西部裂缝线密度最低。元坝东部单井裂缝线密度0.93~14.4条/m,

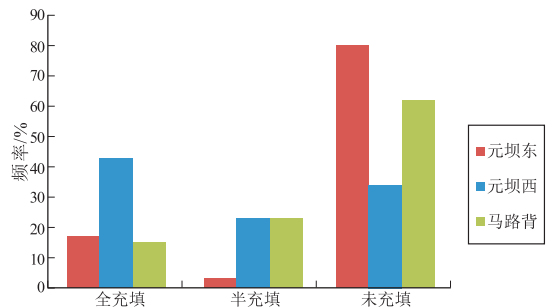


图5 川东北陆相储层裂缝有效性分布

Fig.5 Fracture effectiveness distribution, northeastern Sichuan continental basin

平均值为4.45条/m;元坝西部单井裂缝线密度0.8~2.4条/m,平均值为1.56条/m;马路背地区单井裂缝线密度5~36.6条/m,平均值为17.3条/m(表1)。

3.4.2 微观裂缝

微观裂缝张开度通常小于50 μm,主要在20 μm以内,其必须借助于显微镜来观察和描述,不如宏观裂缝般可以在岩心上直接观察和描述^[13-15]。微观裂缝可以分为粒内缝、粒缘缝和穿粒缝3种类型。其中粒内缝主要表现为石英的裂纹缝;粒缘缝主要分布在颗粒的边缘,通常称为粒间缝或贴粒缝(图6a);穿粒缝即为通常所称的微观裂缝,和前两者微观裂缝相比,其规模相对较大,延伸较长,不受颗粒的限制(图6b)。

表1 川东北陆相储层宏观裂缝发育密度

Table 1 Macro fracture density, northeastern Sichuan continental basin

区块	层位	取心井数/口	岩心长/m	宏观裂缝平均线密度/(条·m ⁻¹)
元坝东	须四段	5	98.78	4.45
元坝西	须三段	6	149.38	1.56
马路背	须二段	3	16.40	17.30

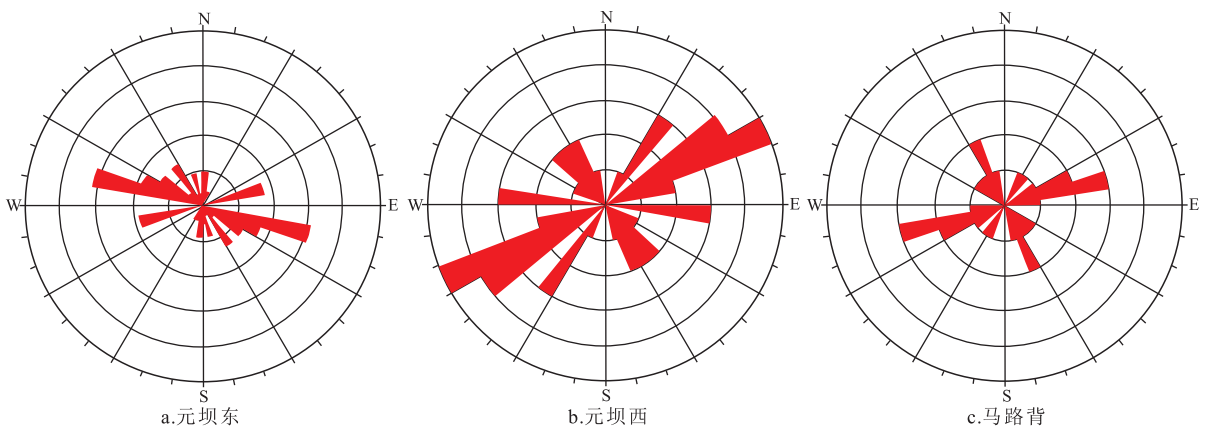


图4 川东北陆相储层裂缝走向玫瑰花图

Fig.4 Rose diagram of fracture strike, northeastern Sichuan continental basin

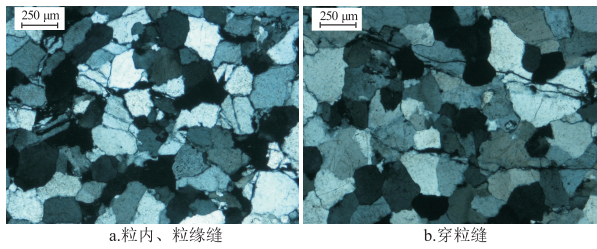


图6 川东北马路背地区储层微裂缝

Fig.6 Micro fractures in Malubei block, northeastern Sichuan continental basin

上述3类微观裂缝在不同区块的发育程度不一样,元坝东、西部主要发育穿粒缝,未见粒内及粒缘缝发育;马路背地区粒内缝、粒缘缝及穿粒缝均较发育,形成网状微裂缝系统。

3个区块薄片的观察结果显示,马路背地区微观裂缝密度较高,其次为元坝东部,元坝西部微观裂缝密度最低。元坝东部仅14%的薄片观测到微观裂缝的发育,计算微观裂缝的面密度平均值为 0.16 mm/mm^2 ;元坝西部仅4%的薄片观测到微观裂缝发育,计算微观裂缝的面密度平均值仅 0.09 mm/mm^2 ;马路背地区39%的薄片均观测到微观裂缝发育,计算微观裂缝的面密度平均值高达 0.63 mm/mm^2 。

4 裂缝对产能的影响

4.1 宏观裂缝

宏观裂缝发育的储层,测试时流体首先从岩石基质以线性流的形式流向裂缝,然后通过裂缝流向井底^[16-18]。对于致密储层来说,裂缝的渗流能力远远高于基质,所以宏观裂缝发育决定了气井初期的产能^[19-22]。针对裂缝5个参数(成因类型、倾角、走向、有效性、密度)差异性与区内气井初期产能进行对比分析,认为宏观裂缝的倾角、有效性、密度综合影响着气井的初期产能。

区内高角度及垂直缝多为构造缝,规模较大,纵向对储层的改造能力强,对气井产能贡献大。如元坝东部YL28井、元坝西部YL7井、马路背地区M103井等井均位于断裂附近,高角度裂缝密集发育,产能也高。水平及低角度裂缝往往多为成岩缝,规模小,有效性较差,对气井产能贡献小。如元坝东部YL172井,低角度缝密集发育,裂缝线密度高达14.6条/m,但气井测试产能低,仅 $2.20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3个区块整体对比结果显示(图7),马路背地区高角度及垂直缝占82%,有效性较高,裂缝线密度高,气井平均产能也最高;元坝西部高角度及垂直缝仅占11.2%,有效性低,裂缝线密度最低,气井

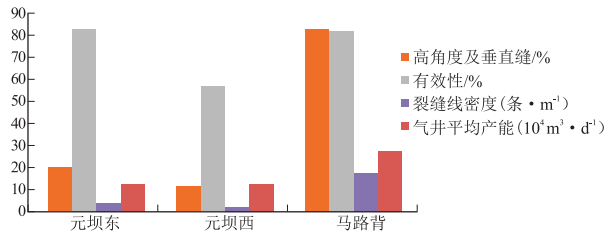


图7 川东北陆相储层裂缝参数与产能分布

Fig.7 Macro fracture parameters and gas well productivity, northeastern Sichuan continental basin

平均产能最低;元坝东部高角度及垂直缝占20%,但裂缝有效性较高,且裂缝线密度相对较元坝西部高,气井平均产能也较元坝西部高。

4.2 微观裂缝

对于致密储层,微观裂缝除了与宏观裂缝一样可以改善储层的渗流能力,还能改善储层的储集能力,使气井在后期生产过程中能较好地稳产^[23-26]。研究区微观裂缝主要通过2种方式改善储层的储集能力,从而进一步影响着气井的稳产。

(1) 储层粒缘及粒内缝十分发育,由于其尺度跟储层基质孔径相当,可以划分到基质孔隙系统中,改善了储层的储集能力。如马路背地区, M101、M103井产层段为石英砂岩,由于石英含量高、且无泥质杂基,在强烈地挤压作用下石英颗粒挤压和破碎形成大量石英本身的裂纹缝(粒内缝)、粒缘缝;粒内、粒缘、穿粒缝等组成的网状裂缝系统,大大改善了储层致密的基质,增加了储层的孔隙度。微观裂缝系统与宏观缝组成良好的基质—网状裂缝系统,确保了这2口井在高产的同时能稳产(M101井投产5年来生产稳定,日产气 $9.33 \times 10^4 \text{ m}^3$,累产气 $2.6 \times 10^8 \text{ m}^3$; M103井投产4年来生产稳定,日产气 $4.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,累产气 $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$)。

(2) 微观裂缝作为酸性流体的通道,对储层进行了有效的溶蚀,增大了储层的储集空间^[27]。如元坝西部须三气藏,气藏属于先致密后成藏的类型,溶蚀作用的发生往往依赖于微观裂缝对酸性流体的疏导。酸性流体顺裂缝流动对裂缝附近的储层优先溶蚀,生成次生高岭石的同时,产生残余的溶蚀孔隙。薄片资料显示,靠近微观裂缝附近次生高岭石、残余粒间溶蚀孔较多,而远离微观裂缝次生高岭石及残余粒间溶蚀孔隙逐渐减少,可见微观裂缝系统越发育,溶蚀作用发生的范围越广,产生的残余粒间孔隙越多,储层储集性能的改善也就越大,更有利于气井的稳产。例如YL7、YL12井产层微观裂缝系统较发育,薄片观察显示次生高岭石及残余溶蚀孔隙发育,这2口井后期试采产能稳定,效果好(YL12井日产

气 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$, 累产 $6\,350 \times 10^4 \text{ m}^3$; YL7 井日产气 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$, 累产 $6\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

5 结论

(1) 川东北地区主要发育剪切缝、张性缝 2 种力学成因的裂缝。其中元坝东部主要发育剪切缝, 有效性较高, 但宏观及微观裂缝密度均较低; 元坝西部主要发育剪切缝, 以水平及低角度缝为主, 有效性差, 宏观及微观裂缝密度低; 马路背地区发育张、剪 2 种成因的裂缝, 以高角度及垂直缝为主, 有效性高, 宏观及微观裂缝密度高。

(2) 宏观裂缝的倾角、有效性、密度综合影响着气井的初期产能。裂缝倾角高、有效性好、密度高的气井往往能获得较高的初期产能。马路背地区裂缝倾角高、有效性较高且线密度高, 气井平均产能也最高; 元坝西部裂缝倾角低、有效性低、线密度最低, 气井平均产能最低。

(3) 网状微观裂缝的发育是气井稳产的关键。马路背地区储层微观裂缝, 特别是粒缘及粒内缝增强了储层的储集性能, 保证了后期气井的稳产。元坝西部须三气藏微观裂缝作为酸性流体的通道, 控制了溶蚀作用的发生, 改善了储层的储集性能, 保证了气井生产的稳定。

参考文献:

[1] 戴金星, 廖凤蓉, 倪云燕. 四川盆地元坝和通南巴地区须家河组致密砂岩气藏气源探讨: 兼答印峰等[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 250-256.
Dai Jinxing, Liao Fengrong, Ni Yunyan. Discussions on the gas source of the Triassic Xujiahe Formation tight sandstone gas reservoirs in Yuanba and Tongnanba, Sichuan Basin; An answer to Yinfeng et al[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(2): 250-256.

[2] 肖开华, 李洪涛, 贾爽. 川东北元坝地区须三段钙屑砂岩储层特征及控气因素[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 654-660.
Xiao Kaihua, Li Hongtao, Jia Shuang. Characteristics of calcarenaceous sandstone reservoirs and gas accumulation control factors of the 3rd member of Xujiahe Formation in Yuanba area, northeast Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 654-660.

[3] 郭彤楼. 四川盆地北部陆相大气田形成与高产主控因素[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 139-149.
Guo Tonglou. Key controls on accumulation and high production of large non-marine gas fields in northern Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(2): 139-149.

[4] 张冲, 谢润成, 周文, 等. 川东北元坝地区须三段致密储集层裂缝特征[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(4): 395-398.
Zhang Chong, Xie Runcheng, Zhou Wen, et al. Fractures characteristics in tight reservoir of the 3rd member of Xujiahe Formation in Yuanba area in northeastern Sichuan Basin[J]. Xinjiang Pe-

troleum Geology, 2014, 35(4): 395-398.

[5] 司马立强, 袁龙, 吴思仪, 等. 川东北地区须三段钙屑砂岩储层特征及控制因素[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2015, 37(2): 178-188.
Sima Liqiang, Yuan Long, Wu Siyi, et al. Reservoir characteristics and main control factors of Xu3 member calcarenaceous sandstone in northeast Sichuan area[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2015, 37(2): 178-188.

[6] 张克银. 川西孝泉-新场地区须家河组四段裂缝分布特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 398-404.
Zhang Keyin. Fracture distribution characteristics of 4th member of Xujiahe Formation in Xiaquan-Xinchang area, western Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 398-404.

[7] 刘崇瑞, 颜丹平, 李书兵. 川西坳陷大邑构造须三段储层裂缝类型及控制因素[J]. 断块油气田, 2014, 21(1): 28-31.
Liu Chongrui, Yan Danping, Li Shubing. Types and controlling factors of fractures for the third Member of Xujiahe Formation in Dayi structure, west Sichuan Depression[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(01): 28-31.

[8] 舒姚, 胡明. 川东北地区构造特征及变形期次探讨[J]. 复杂油气藏, 2010, 3(2): 17-20.
Shu Yao, Hu Ming. Structural feature and deformation stages in northeast of Sichuan Basin[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2010, 3(2): 17-20.

[9] 李军, 邹华耀, 张国常, 等. 川东北地区须家河组致密砂岩气藏异常高压成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(3): 624-633.
Li Jun, Zou Huayao, Zhang Guochang, et al. Origins of overpressure tight gas reservoirs in the Xujiahe Formation, northeastern Sichuan Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(3): 624-633.

[10] 徐敏, 梁虹. 川东北高陡复杂构造区三维地震精细构造解释技术[J]. 石油物探, 2015, 54(2): 197-202.
Xu Min, Liang Hong. 3D seismic fine structural interpretation technology in high-steep complicated area, northeast Sichuan Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2015, 54(2): 197-202.

[11] 何志勇, 刘海涛, 肖伟. 川东北 YB 地区须家河组裂缝特征及主控因素[J]. 断块油气田, 2014, 21(1): 32-35.
He Zhiyong, Liu Haitao, Xiao Wei. Controlling factors and fracture characteristics of Xujiahe Formation reservoir in YB Area, northeastern Sichuan Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(1): 32-35.

[12] 左代容, 何胡军, 曾大乾, 等. 复杂构造区块裂缝发育密度与构造关系的定量表征: 以川东北普光气田为例[J]. 断块油气田, 2014, 21(3): 318-321.
Zuo Dairong, He Hujun, Zeng Daqian, et al. Quantitative characterization of relationship between fracture development density and structure in complex structure block; Taking Puguang Gas Field in northeast of Sichuan as an example[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(3): 318-321.

[13] 曾联波. 低渗透砂岩储层裂缝的形成与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 101.

- Zeng Lianbo. Formation and distribution of fracture in low permeability sandstone reservoir [M]. Beijing: Science Press, 2008: 101.
- [14] 汪吉林, 朱炎铭, 宫云鹏, 等. 重庆南川地区龙马溪组页岩微裂缝发育影响因素及程度预测 [J]. 天然气地球科学, 2015, 26(8): 1579-1586.
- Wang Jilin, Zhu Yanming, Gong Yunpeng, et al. Influential factors and forecast of microcrack development degree of Longmaxi Formation shales in Nanchuan region, Chongqing [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(8): 1579-1586.
- [15] 张莉, 杨亚娟, 岳乐平, 等. 哈南阿尔善油藏微裂缝特征及其对开发的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 158-160.
- Zhang Li, Yang Yajuan, Yue Leping, et al. Characteristics of microfractures and their influence on waterflooding in Aershan Reservoir, Hanan Oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(2): 158-160.
- [16] 刘波涛, 李清泉, 张福祥, 等. 致密油藏多级压裂水平裂缝井不稳态产能分析 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 138-142.
- Liu Botao, Li Qingquan, Zhang Fuxiang, et al. Rate transient analysis of multistage fractured wells with horizontal fractures in tight oil reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 138-142.
- [17] 魏臣兴, 练章华, 郭衍茹, 等. 川东北元坝区块裂缝对渗流场的影响分析 [J]. 长江大学学报(自然科学版), 2015, 12(20): 51-54.
- Wei Chenxing, Lian Zhanghua, Guo Yanru, et al. Analysis to the effect of fracture to seepage field in Yuanba block in the north-eastern Sichuan province [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2015, 12(20): 51-54.
- [18] 范存辉, 王时林, 袁云峰, 等. 腰英台地区青山口组裂缝期次及对渗流的影响 [J]. 特种油气藏, 2014, 21(6): 19-22.
- Fan Cunhui, Wang Shilin, Yuan Yunfeng, et al. Fracture stages of Qingshankou Fm in Yaoyingtai area and their influences on filtering flow [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(6): 19-22.
- [19] 王振宇, 陶夏妍, 范鹏, 等. 库车坳陷大北气田砂岩气层裂缝分布规律及其对产能的影响 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(2): 51-56.
- Wang Zhenyu, Tao Xiayan, Fan Peng, et al. Distribution rule of fractures and their effect on deliverability in sandstone reservoirs, Dabei gas field, Kuqa foreland basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 51-56.
- [20] 徐新丽. 含微裂缝低渗储层应力敏感性及其对产能影响 [J]. 特种油气藏, 2015, 22(1): 127-130.
- Xu Xinli. Stress Sensitivity of low-permeability reservoir containing micro-fracture and its influence on productivity [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(1): 127-130.
- [21] 刘行军, 杨双定, 谢刚, 等. 鄂尔多斯盆地合水地区长8段裂缝发育特征及其对产油量的影响 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(6): 57-60.
- Liu Xingjun, Yang Shuangding, Xie Gang, et al. The study of relationship between fracture characteristic and yield of Chang8 section in Heshui area, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 57-60.
- [22] 关宝文, 郭建明, 杨燕, 等. 油气储层裂缝预测方法及发展趋势 [J]. 特种油气藏, 2014, 21(1): 12-17.
- Guan Baowen, Guo Jianming, Yang Yan, et al. Methods of fracture prediction in oil & gas reservoirs and their development trend [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(1): 12-17.
- [23] 陈迎宾, 郑冰, 袁东山, 等. 大邑构造须家河组气藏裂缝发育特征及主控因素 [J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 29-35.
- Chen Yingbin, Zheng Bing, Yuan Dongshan, et al. Characteristics and main controlling factors of fractures in gas reservoir of Xujiahe Formation, Dayi Structure [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 29-35.
- [24] 郭辉, 马中远, 张黎, 等. 塔中北坡下志留统柯坪塔格组裂缝发育特征及成藏意义 [J]. 石油实验地质, 2015, 37(1): 22-27.
- Guo Hui, Ma Zhongyuan, Zhang Li, et al. Development characteristics and hydrocarbon accumulation significance of fractures in Lower Silurian Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(1): 22-27.
- [25] 吴胜和. 储层表征与建模 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 203.
- Wu Shenghe. Reservoir characterization and modeling [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 203.
- [26] 白斌, 邹才能, 朱如凯, 等. 四川盆地九龙山构造须二段致密砂岩储层裂缝特征、形成时期与主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 526-535.
- Bai Bin, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. Characteristics, timing and controlling factors of structural fractures in tight sandstones of the 2nd member of Xujiahe Formation in Jiulong Mountain structure, Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 526-535.
- [27] 马中远, 杨红彩, 黄苇, 等. 巴楚西段古生界储层裂缝发育规律及其油气成藏效应 [J]. 石油实验地质, 2014, 36(S1): 1-7.
- Ma Zhongyuan, Yang Hongcai, Huang Wei, et al. Fracture development regularity and its effects on hydrocarbon accumulations in Paleozoic reservoirs in western Bachu Uplift [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(S1): 1-7.

(编辑 黄娟)