

塔中北坡下志留统柯坪塔格组 裂缝发育特征及成藏意义

郭辉, 马中远, 张黎, 黄苇, 杨素举

(中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 依据岩心、镜下薄片、扫描电镜、阴极发光、常规和偶极子声波测井等资料, 对塔中北坡柯坪塔格组的裂缝发育特征及其成藏意义进行了剖析。认为研究区内发育大量构造裂缝, 裂缝产状以高角度裂缝和垂直裂缝为主, 裂缝具有“密度低、长度长、宽度中等、充填低”的特征, 并沿泥砾边缘、层间等岩石相对薄弱带裂缝更为发育; 常规测井曲线响应特征表现为“两高、一幅度差”的特征; 偶极子声波快横波各向异性分析和构造分析表明, 裂缝的发育应与北东向走滑断裂带和 NE-SW 向的最大水平主应力分布有关。柯坪塔格组裂缝不仅能有效弥补致密砂岩储层物性差的不足, 改善储层储渗性能, 而且大尺度、高角度或垂直裂缝可作为油气垂向运移的重要通道, 提高油气输导性能, 是致密砂岩油气藏形成的关键要素之一。小尺度、低角度或水平裂缝是油气小规模运移调整的重要介质。

关键词: 裂缝; 成藏意义; 柯坪塔格组; 下志留统; 塔中北坡

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标识码: A

Development characteristics and hydrocarbon accumulation significance of fractures in Lower Silurian Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin

Guo Hui, Ma Zhongyuan, Zhang Li, Huang Wei, Yang Suju

(Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Based on the data of core, microscope thin section, scanning electron microscope, cathode luminescence, and conventional and dipole acoustic logging, the development characteristics and hydrocarbon accumulation significance of fractures in the Lower Silurian Kalpintag Formation on the northern slope of the central Tarim Basin were studied. A large number of mainly high-angle or vertical fractures developed in the study area. They feature low density, long length, medium width and low filling extent. More fractures were found in the relatively weak bands of rock, such as the margins and interlayers of boulder clays. Conventional logging curves showed two peaks and one order of magnitude difference. The anisotropy of fast shear wave in dipole acoustic logging showed that fracture development was influenced by NE trending strike-slip faults and the NE-SW trending maximum horizontal principal stress. The fractures in the Kalpintag Formation played important roles in the formation of tight sandstone reservoirs. They improved the porosity and permeability of tight sandstones, and the large-scale, high-angle or vertical fractures served as pathways for vertical migration of hydrocarbons. For the small-scale adjustment of hydrocarbon migration, the small-scale, low-angle or horizontal fractures were important.

Key words: fracture; accumulation significance; Kalpintag Formation; Lower Silurian; northern slope of central Tarim Basin

诸多专家和学者对裂缝的研究热情从未消减, 究其原因主要是当前面临的勘探对象开始转向非常规勘探领域, 如致密砂岩油气藏、源岩油藏、页岩油气藏等^[1-5]。这些非常规油气藏的基质孔隙

本身不发育, 往往裂缝对储层的贡献尤为明显, 因而前人利用大量岩心、镜下薄片、地球物理等资料对裂缝做了很多研究工作, 认识到裂缝对非常规储层及油气成藏均具有积极意义^[6-8]。对于塔中北

收稿日期: 2013-09-05; 修订日期: 2014-12-08。

作者简介: 郭辉(1979—), 女, 硕士, 工程师, 从事沉积储层方面的研究工作。E-mail: ghplaygirl@163.com。

通讯作者: 马中远(1986—), 男, 硕士, 工程师, 从事油气成藏方面的研究工作。E-mail: 357957993@qq.com。

基金项目: 国家科技重大专项专题“塔里木盆地碎屑岩层系大中型油气田富集规律与勘探方向”(2011ZX05002-003)资助。

坡而言,志留系柯坪塔格组一直是重点勘探层系之一^[9-11]。2002—2003 年在针对柯坪塔格组上段构造圈闭部署的 SH1 井测试仅获少量稠油,在历经数年勘探瓶颈期之后,2009—2010 年主要针对柯坪塔格组楔状体岩性圈闭部署的 SH9 井,发现了柯坪塔格组下段致密砂岩轻—中质油藏(图 1),从而打开了该区志留系勘探的新局面。但是柯坪塔格组致密砂岩油藏最大的特点就是储层埋藏深(大于 5 500 m)、物性差(孔隙度小于 10%、渗透率总体小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。SH9 井直井眼常规射孔测试为干层,直井眼加砂压裂日产油 5.52 m^3 ,仅为低产工业油流,由此可见该区致密砂岩油藏的勘探难度之大,而目前裂缝对该区致密砂岩油藏的作用研究也不足。本次通过岩心、镜下薄片、扫描电镜、阴极发光、测井等资料对塔中北坡柯坪塔格组裂缝的基本特征进行系统分析,解释裂缝成因,并试图阐述裂缝的成藏意义,为该区下一步勘探与开发提供相关依据。

1 裂缝发育特征

1.1 裂缝的基本特征

通过分析 SH1、SH901、SH903H、SH904H、SX2 等 5 口井柯坪塔格组的大量岩心、薄片观察和测井解释资料,发现塔中北坡柯坪塔格组发育 2 种成因的裂缝,即构造裂缝和成岩缝。成岩缝是在埋藏条件下,地层上覆压力使得粒间孔隙缩小,脆性颗粒间相互挤压易于在接触点处发生破裂形成裂缝,其数量、规模有限;构造缝主要是在构造应力作用下岩石破裂形成的具定向性的张扭、压扭和剪切性质的裂缝。

从钻井取心和蚂蚁体属性分析上来看,塔中北坡柯坪塔格组裂缝产状普遍陡倾,裂缝倾角多大于 75° ,主要以垂直裂缝(图 2a-d)和高角度裂缝(图 2c)为主,同时伴生一定规模的中低角度裂缝,水平缝少见。

塔中北坡 SH9 井区柯坪塔格组裂缝具有“密度低、长度长、宽度中等、充填低”的特点。SH1 井柯坪塔格组上段裂缝以高角度裂缝为主,见一定的垂直裂缝和少量水平缝,裂缝发育密度 0.11~3.9 条/m,裂缝长度 0.6 m 左右,缝宽 0.5~2 mm,多数未充填(图 2c),少数裂缝为泥质、沥青所半充填;SH903H 井柯坪塔格组上段发育 2 条垂直裂缝,裂缝发育密度 0.3 条/m,裂缝长度 0.55 m 左右,缝宽 0.5~1 mm,未充填;SH901 井柯坪塔格组下段发育 4 条垂直裂缝,横贯 20.8 m 的连续取心段,裂缝密度 0.19 条/m,裂缝长度 1.2~8.5 m,均值为 3.8 m,缝宽 0.05~2 mm,缝面粗糙,发育微阶步,未充填(图 3e);SH904H 井柯坪塔格组下段发育 6 条垂直

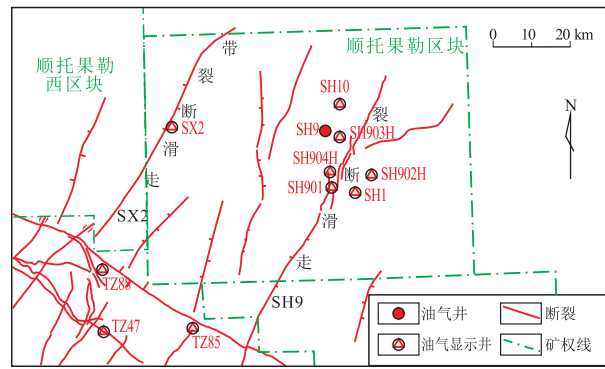


图 1 塔中顺托果勒地区区域位置

Fig.1 Location of Shuntuoguole area, central Tarim Basin



图 2 塔中北坡柯坪塔格组裂缝岩心发育特征

Fig.2 Core features of fractures in Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin

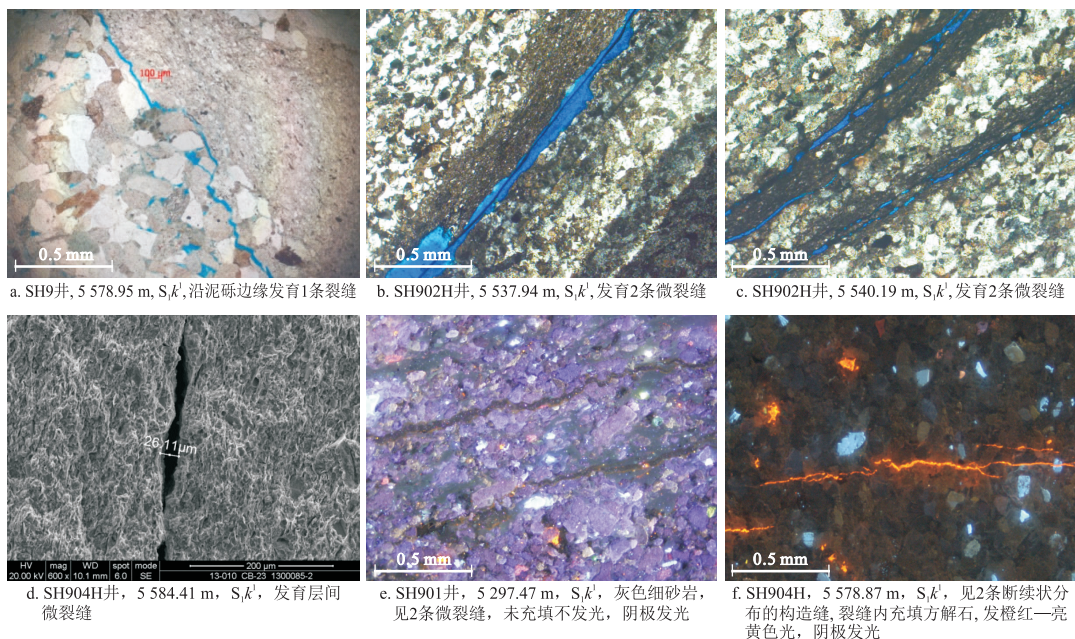


图 3 塔中北坡柯坪塔格组裂缝镜下发育特征

Fig.3 Microscope features of fractures in Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin

裂缝,裂缝发育密度 0.3~0.33 条/m,裂缝长度 0.27~1.84 m,均值达到 1.08 m,缝宽 0.5~1.5 mm,多数裂缝未充填,少数为泥质或方解石充填(图 3f)。塔中北坡柯坪塔格组岩心上裂缝发育密度低、长度大的原因可能正是与裂缝普遍以高陡产状的形式产出、钻井钻遇概率相对偏低有关。

镜下观察可发现在岩石相对薄弱带的部位更容易发育裂缝。SH9 井深度为 5 578.95 m 处可见沿泥砾边缘发育 1 条裂缝,该裂缝处于细砂岩和泥砾的岩性过渡区(图 3a);SH902H 井在深度 5 537.94 m 和 5 540.19 m 处见裂缝发育在粉细砂岩和泥质粉砂岩、泥岩的岩性过渡区(图 3b,c);同一岩性的岩石,在层间也会存在相对薄弱带,容易形成层间微裂缝(图 3d)。

1.2 裂缝的测井响应特征

前人结合岩心等资料,利用常规测井曲线能够较好地识别储层裂缝,对于砂泥岩地层,一般情况下,测井响应上表现为声波时差值增大、双侧向曲线上出现正幅度差等特征,并可对裂缝孔隙度参数进行定量评价^[12-13]。柯坪塔格组储层裂缝具有良好的测井响应特征,SH901 井柯坪塔格组下段含油层段垂直裂缝发育(图 2d),连续取心上可见垂直裂缝贯穿整个含油层段。该井典型裂缝发育段的声波时差值和声波孔隙度值均偏高,声波时差均值为 65 $\mu\text{s}/\text{ft}$ (1 ft = 0.304 8 m),中子孔隙度均值为 8%;深浅电阻率表现为正幅度差的特征,储层物性、含油性越好,幅度差越大,反之,则幅度差越小

(图 4)。密度曲线特征不甚明显,主要与该区储层致密,密度测井响应不敏感有一定的关系。同时研究表明该区其他井也具有与 SH901 井类似的裂缝测井响应特征。总之,该区柯坪塔格组裂缝测井响应特征表现为“两高、一幅度差”的特征。

1.3 裂缝的成因

塔中顺托果勒区块在加里东晚期—海西早期整体处于左旋扭动应力场中,发育多组左行左阶和

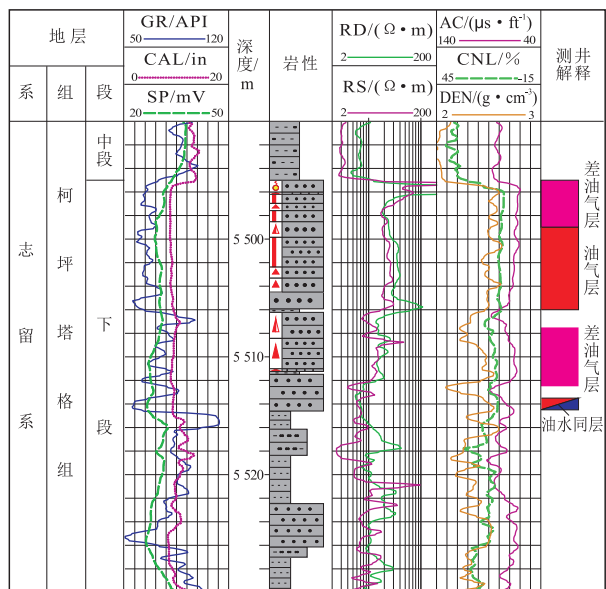


图 4 塔中北坡 SH901 井柯坪塔格组下段含油层段裂缝测井响应特征

Fig.4 Responses of fractured logging in oil layers in lower Kalpintag Formation, well SH901, northern slope of central Tarim Basin

右行右阶的走滑断裂带。加里东晚期,阿尔金向塔里木盆地碰撞造山,形成的北西方向强烈的挤压作用力,遇到先存的几排北西向逆冲断裂带(塔中I号断裂带等)的阻挡,造成构造应力分解产生北东方向斜向挤压力,叠加在基底北东向薄弱带上,形成数条北东向左旋走滑断裂系,其中包括SH9井断裂带。前人研究表明^[14-15],SH9井断裂带是一条北东走向稳定、线性延伸的走滑主干断层,其主要活动期为加里东晚期—海西早期,断裂主断面陡立插入寒武系地层,海西晚期走滑断裂继续活动,具有继承性,但活动期较早期变弱。裂缝往往与断裂相伴出现,柯坪塔格组裂缝的发育无疑与北东向断裂带密切相关。

前人研究认为,塔里木盆地轮古西部地区地应力方向与裂缝展布方向基本一致^[16],主方向为北东—南西向;也有研究认为渤南地区地层应力以北西向为主,地层应力方向与裂缝展布方向基本一致^[17];众多学者^[18-19]的研究均表明裂缝展布方向应与区域主地应力方向分布一致。

在砂泥岩地层,各向异性往往与地应力不均有关,横波分离后沿最大水平主应力方向的横波传播速度快,而沿最小水平主应力方向的横波传播速度慢,因此各向异性方向可以反映现今最大水平主应力的方向^[20]。通过对顺901井偶极阵列声波(XMAC)数据进行横波分离得到快、慢横波速度及方位,用快横波方位来确定各向异性方向,统计可知本井各向异性方向平均为 53.1° 左右,总体反映现今最大水平主应力方向为北东—南西向(图5a)。SH902H井BCR方位各向异性快横波方位指示了现今最大水平主应力方向为北东—南西向(图5b)。由此可见,本区区域主应力方向与北东走向走滑断裂带的方向基本一致,而裂缝与断裂也相伴出现,因此可以认为塔中北坡柯坪塔格组裂缝的成因应与北东向走滑断裂带和北东—南西向最大

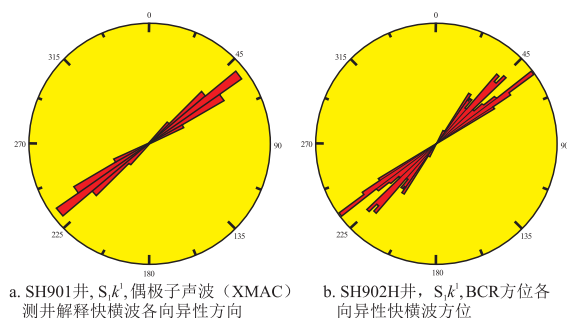


图5 塔中北坡柯坪塔格组最大水平主应力方向特征
Fig.5 Direction of maximum horizontal principal stress of Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin

水平主应力方向有关。

2 裂缝的成藏意义

赵良金等^[21]认为裂缝为东濮凹陷裂缝性砂岩油气藏提供油气储集空间,可作为有效储层;卞从胜等^[22]认为四川盆地广安气田须家河组晚期裂缝对有效储层贡献不大,但是对于气藏成藏起到运移通道的作用,早期裂缝不仅能作为运移通道,而且可以成为有效储层;王志萍等^[23]认为裂缝更重要的是提高了储层的渗滤能力,并能成为油气藏重新调整、富集的主要通道;周新桂等^[24]强调了高角度裂缝对天然气输导作用明显。裂缝对于塔中北坡柯坪塔格组致密砂岩油气藏而言,其成藏意义主要体现在两方面:(1)裂缝对储层的改造作用具有积极意义;(2)裂缝是不可或缺的输导介质,可作为良好的油气运移的通道。

柯坪塔格组裂缝能有效弥补致密砂岩储层物性差的不足,改善储层储渗性能。从塔中北坡柯坪塔格组下段致密砂岩油层段的孔渗交会图来看(图6),孔隙度与渗透率的相关性不是很明显,其受到裂缝的影响是显而易见的,在孔隙度为4%左右的区域,反而有大量储层渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,表明裂缝对储层渗透率的改善较为显著,因而裂缝对改善研究区内储层的储渗性能具有重要意义。

塔中北坡柯坪塔格组裂缝的输导性能与裂缝的尺度、产状有着密切的关系。大尺度、高角度或垂直裂缝更有利于油气的运移,而微裂缝或是中低角度、水平裂缝则对油气的局部运移调整有着一定的贡献。前文已述及塔中北坡柯坪塔格组裂缝产状往往以高角度或垂直裂缝为主,裂缝长度长,纵向延伸远,十分有利于油气的垂向运移,岩心上表现的尤为明显。SX2井柯坪塔格组中段高角度裂

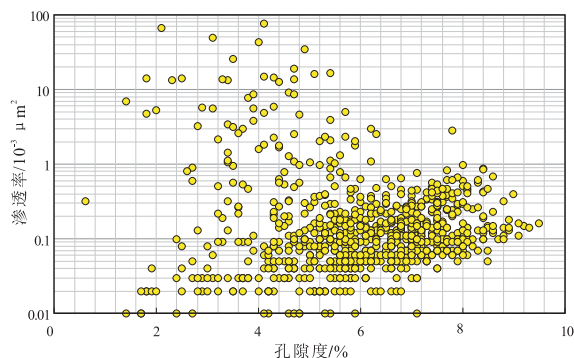


图6 塔中北坡柯坪塔格组下段油层段孔渗交会图
Fig.6 Porosity and permeability of oil layers in lower Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin

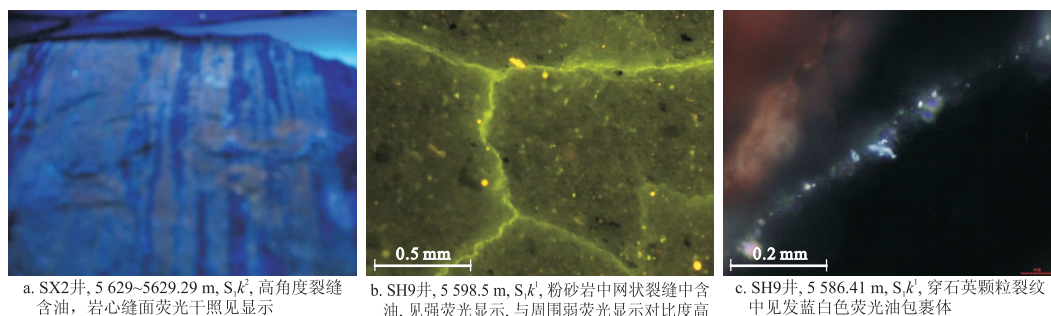


图 7 塔中北坡柯坪塔格组沿裂缝油气显示特征

Fig.7 Hydrocarbon shows along fractures in Kalpintag Formation, northern slope of central Tarim Basin

缝岩心缝面荧光干照显示强(图 7a), SH901 井柯坪塔格组下段垂直裂缝缝面为原油所浸染(图 2d), 均表明大尺度、高角度或垂直裂缝的优质输导性能, 是致密砂岩油气藏形成的关键要素之一。而对于微裂缝或是中低角度、水平裂缝而言, 尽管其规模输导能力相对有限, 但是它可作为良好储集体, 提供一定的储集空间。SH9 井粉砂岩中网状裂缝中含油, 见强荧光显示, 与周围弱荧光显示对比度高(图 7b), 表明裂缝具备一定的储集空间; 另一方面也可作为小范围内油气小规模运移调整的通道。SH9 井镜下可见大量穿石英颗粒裂纹中存在发荧光油包裹体, 其是油气微观尺度运移的重要记录(图 7c)。

3 结论

(1) 研究区内发育大量构造裂缝, 裂缝产状以高角度裂缝和垂直裂缝为主, 也发育一定规模的中低角度裂缝, 水平缝少见。

(2) 裂缝具有“密度低、长度长、宽度中等、充填低”的特点, 而造成这一现象的原因可能与裂缝普遍以高陡产状产出、直井钻井钻遇率相对偏低有关。裂缝也具有沿泥砾边缘、层间等岩石相对薄弱带更为发育的特征。

(3) 常规测井曲线响应特征表现为“两高、一幅度差”的特征; 偶极子声波各向异性构造分析表明, 裂缝的发育与北东向走滑断裂带和 NE-SW 向的最大水平主应力分布有关。

(4) 柯坪塔格组裂缝的成藏意义重大, 它不仅能够有效弥补致密砂岩储层物性差的不足, 改善储层储渗性能, 而且大尺度、高角度或垂直裂缝可作为油气垂向运移的重要通道, 提高油气输导性能, 是致密砂岩油气藏形成的关键要素之一; 而小尺度、低角度或水平裂缝是油气小规模运移调整的重要介质, 其作用也不可小觑。

参考文献:

- [1] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 129-136.
Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 129-136.
- [2] 李新景, 胡素云, 程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 392-400.
Li Xinjing, Hu Suyun, Cheng Keming. Suggestions from the development of fractured shale gas in North America[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 392-400.
- [3] 杨振恒, 韩志艳, 李志明, 等. 北美典型克拉通盆地页岩气成藏特征、模式及启示[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 463-470.
Yang Zhenheng, Han Zhiyan, Li Zhiming, et al. Characteristics and patterns of shale gas accumulation in typical North American cratonic basins and their enlightenments[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 463-470.
- [4] 侯杰杰, 包书景, 毛小平, 等. 页岩气资源潜力评价的几个关键问题讨论[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(3): 7-16.
Hou Dujie, Bao Shujing, Mao Xiaoping, et al. Discussion on the Key Issues of Resource Potential Evaluation for Shale Gas[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2012, 34(3): 7-16.
- [5] 赵靖舟, 李军, 曹青, 等. 论致密大油气田成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 573-583.
Zhao Jingzhou, Li Jun, Cao Qing, et al. Hydrocarbon accumulation patterns of large tight oil and gas fields[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 573-583.
- [6] 王春梅, 黄思静, 孙治雷, 等. 川西坳陷须家河组致密砂岩储层裂缝发育特征及其成因: 以孝泉—新场—合兴场地区为例[J]. 天然气工业, 2011, 31(8): 43-47.
Wang Chunmei, Huang Sijing, Sun Zhilei, et al. Characteristics and origin of fractures in tight sandstone reservoirs of the Xujiache formation in the Western Sichuan Depression: A case study in the Xiaquan-Xinchang-Hexingchang area[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(8): 43-47.
- [7] 张贵生. 川西坳陷须家河组致密砂岩储层裂缝特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(7): 11-13.
Zhang Guisheng. Characteristics of fractures in the tight sandstone

- reservoirs of Xujiahe formation in west Sichuan depression [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(7): 11-13.
- [8] 李晓燕, 蒋有录, 陈涛. 古风化壳孔隙与裂缝发育特征及其油气地质意义 [J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(1): 60-64.
Li Xiaoyan, Jiang Youlu, Chen Tao. Characteristics and Petroleum Geological Significance of Pores and Fissures Developed in the Paleo Weathered Crust [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(1): 60-64.
- [9] 张少华, 蒲仁海, 云露, 等. 塔北地区柯坪塔格组下段储层特征 [J]. 岩性油气藏, 2012, 24(6): 76-81.
Zhang Shaohua, Pu Renhai, Yun Lu, et al. Reservoir characteristics of lower Kepingtage Formation in Tabei area [J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(6): 76-81.
- [10] 王毅, 陈元壮. 塔河地区南部志留统柯坪塔格组油气藏形成条件 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 632-638.
Wang Yi, Chen Yuanzhuang. Conditions of hydrocarbon pooling in the Silurian Kepingtage Formation in the southern Tahe region of the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 632-638.
- [11] 吕修祥, 白忠凯, 赵风云. 塔里木盆地塔中隆起志留统油气成藏及分布特点 [J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 156-166.
Lü Xiuxiang, Bai Zhongkai, Zhao Fengyun. Hydrocarbon accumulation and distributional characteristics of the Silurian reservoirs in the Tazhong uplift of the Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 156-166.
- [12] 杨少春, 齐陆宁, 李控豹. 埕岛地区埕北 20 潜山带裂缝类型、发育期次及控制因素 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2012, 36(5): 1-6.
Yang Shaochun, Qi Luning, Li Shuanbao. Fracture types, development phases and controlling factors of Chengbei 20 buried hills in Chengdao area [J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36(5): 1-6.
- [13] 陈义国, 孟旺才, 陈世海, 等. 鄂尔多斯盆地 D 区常规测井裂缝孔隙评价 [J]. 国外测井技术, 2013(3): 12-14.
Chen Yiguo, Meng Wangcai, Chen Shihai, et al. Evaluation of fracture proposity with common well logging in D area of Erdos Basin [J]. World Well Logging Technology, 2013(3): 12-14.
- [14] 马庆佑, 沙旭光, 李玉兰, 等. 塔中顺托果勒区块走滑断裂特征及控油作用 [J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 120-124.
Ma Qingyou, Sha Xuguang, Li Yulan, et al. Characteristics of strike-slip fault and its controlling on oil in Shuntuoguole region, middle Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 120-124.
- [15] 张承泽, 于红枫, 张海祖, 等. 塔中地区走滑断裂特征、成因及地质意义 [J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(5): 22-26.
Zhang Chengze, Yu Hongfeng, Zhang Haizu, et al. Characteristic genesis and geologic meaning of strike-slip fault system in Tazhong Area [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(5): 22-26.
- [16] 赵军, 王森, 祁兴中, 等. 轮西地区奥陶系地应力方向及裂缝展布规律分析 [J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 95-99.
Zhao Jun, Wang Miao, Qi Xingzhong, et al. Ground stress direction and fracture distribution law of Ordovician in Lunxi area [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3): 95-99.
- [17] 刘建伟, 师涛, 陈香朋, 等. 渤南地区地应力方向及裂缝展布规律分析 [J]. 油气地球物理, 2013, 11(2): 34-36.
Liu Jianwei, Shi Tao, Chen Xiangpeng, et al. Crustal stress orientation and fracture distribution pattern in Bonan area [J]. Petroleum Geophysics, 2013, 11(2): 34-36.
- [18] 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.
- [19] 陈程, 孙义梅, 敬国超, 等. 安棚油田深层系水平主应力方向及其对开发的影响 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2): 210-213.
Chen Cheng, Sun Yimei, Jing Guochao, et al. The horizontal principal-stress orientation and its effect on development of low permeability reservoir of paleogene in Anpeng Oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(2): 210-213.
- [20] 魏周拓, 范宜仁, 陈雪莲. 横波各向异性在裂缝和应力分析中的应用 [J]. 地球物理学进展, 2012, 27(1): 217-224.
Wei Zhoutuo, Fan Yiren, Chen Xuelian. Application of shear wave anisotropy in fractures and in-situ stress analysis [J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(1): 217-224.
- [21] 赵良金, 杨广林, 王瑞飞, 等. 东濮凹陷裂缝性砂岩油气藏主控因素及成藏模式 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 196-202.
Zhao Liangjin, Yang Guanglin, Wang Ruifei, et al. Key controlling factors and reservoir-forming model of the fractured sandstone reservoirs in Dongpu Sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(2): 196-202.
- [22] 卞从胜, 王红军. 四川盆地广安气田须家河组裂缝发育特征及其与天然气成藏的关系 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 385-390.
Bian Congsheng, Wang Hongjun. Developmental features and the relationship between fractures and gas accumulation in the Xujiahe formation of Guang'an gasfield, the Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(6): 385-390.
- [23] 王志萍, 秦启荣, 王保全. 川西 DY 地区致密砂岩储层裂缝特征及其成藏意义 [J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 572-576.
Wang Zhiping, Qin Qirong, Wang Baoquan. Fracture characteristics and its hydrocarbon accumulation significance of tight sandstone reservoir in DY Region of west Sichuan [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2012, 19(5): 572-576.
- [24] 周新桂, 张林炎. 塔巴庙气田上古生界致密储层裂缝系统基本特征及其在天然气成藏中的作用 [J]. 地球学报, 2006, 27(4): 323-328.
Zhou Xingui, Zhang Linyan. Basic characteristics of natural fracture systems in the upper paleozoic tight sand reservoirs in Tabamiao area, North Ordos Basin and its role in the process of gas reservoir formation [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(4): 323-328.