

阿姆河右岸东部地区岩溶裂缝的测井识别与评价

张树东¹ 任兴国² 罗利¹ 郭廷亮¹ 梁旭升¹

1. 中国石油集团测井有限公司西南分公司 2. 中国石油川庆钻探工程公司地质勘探开发研究院

摘 要 土库曼斯坦阿姆河右岸东部地区碳酸盐岩气藏储层孔隙度较低, 但裂缝发育, 裂缝对储层储集性和天然气产量都具有控制作用, 岩溶裂缝是其中最重要的一类裂缝, 故准确识别和评价该类裂缝就显得十分必要。为此, 在岩心标定的基础上, 运用成像测井和常规测井资料识别裂缝类型、提取裂缝产状, 根据识别结果研究岩溶裂缝的分布特征及其对储层的控制作用。结果表明: ①岩溶裂缝以高角度缝为主、具有单组系特征和相互之间的成因联系; ②岩溶裂缝主要分布于卡洛夫—牛津阶上部 XVhp 层以及下部 XVa2—XVI 层; ③岩溶裂缝是该区主要的有效裂缝, 经溶蚀扩大的岩溶裂缝有效地连通了溶蚀孔洞, 形成的储层孔隙度高、渗透性好, 成为该区重要的储层类型和主要的高产气层; ④岩溶裂缝与该区主要的高产井、高产层有关, 同时对卡洛夫—牛津阶下部高产储层的分布也具有重要的控制作用。结论认为: ①成像测井和常规测井资料能较好地识别和评价岩溶裂缝与未充填裂缝、半充填缝和全充填缝; ②岩溶裂缝识别与评价深化了对该区裂缝性储层的认识, 提高了储层评价的准确性和有效性, 为优选水平井和大斜度井的目标层位和井斜方位提供了依据, 同时也表明岩溶裂缝发育的储层是下一步重要的钻探目标。

关键词 土库曼斯坦 阿姆河右岸东部地区 碳酸盐岩气藏 岩溶裂缝 充填特征 成像测井 测井响应 天然气产量

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2018.06.007

Logging-based identification and evaluation of karst fractures in the eastern Right Bank of the Amu Darya River of Turkmenistan

Zhang Shudong¹, Ren Xingguo², Luo Li¹, Guo Tingliang¹ & Liang Xusheng¹

(1. Southwest Branch, CNPC Logging Company Limited, Chongqing 400021, China; 2. Geological Exploration & Development Research Institute, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610051, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 38, ISSUE 6, pp.53-58, 6/25/2018. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Carbonate gas reservoirs in the eastern area on the Right Bank of the Amu Darya River, Turkmenistan, are of low-porosity and with developed fractures. In this area, fractures control reservoir properties and natural gas production, and karst fractures are the most important kind of fractures, so their identification and evaluation is quite necessary. In this paper, fracture types were identified and their occurrence was extracted by using conventional logging and image logging data after core calibration. Then, the distribution characteristics of karst fractures and their controlling effect on reservoirs were studied according to the identification results. And the following research results were obtained. First, karst fractures are mainly of high angle with the characteristic of mono system and the interactive relation of genesis. Second, they are mainly distributed in the upper XVhp layer of Callovian–Oxford Stage and the lower XVa2–XVI layer. Third, they are the main effective fractures in this area. The dissolved pores are connected effectively through the expanded karst fractures by dissolution, and consequently reservoirs of high porosity and permeability are formed and they are the important reservoir type and high-yield gas reservoir in this area. Fourth, karst fractures are related to high yield wells and high yield layers in this area, and they also control the distribution of high yield reservoirs in the lower part of Callovian–Oxford Stage. It is concluded that by virtue of imaging logging and conventional logging data, karst fractures, unfilled fractures, semi-filled fractures and fully filled fractures can be identified and evaluated better. Furthermore, the identification and evaluation of karst fractures deepens the understanding on fractured reservoirs in this area, improves the reservoir evaluation effect, and provides the basis for the target horizon and azimuth optimization of horizontal wells and highly deviated wells. And it is also indicated that the reservoirs with developed karst fractures are the subsequent important drilling targets.

Keywords: Turkmenistan; Eastern area on the Right Bank of Amu Darya; Carbonate gas reservoir; Karst fractures; Filling characteristic; Imaging logging; Log response; Natural gas production rate

作者简介:张树东, 1966 年生, 教授级高级工程师, 博士; 主要从事碳酸盐岩测井评价、页岩气测井解释、随钻地质导向等技术研究工作。地址: (400021) 重庆市渝北区红石路 152 号。电话: (023) 67350659。ORCID: 0000-0002-5436-4956。E-mail: zhangsd-007@163.com

土库曼斯坦阿姆河右岸东部区块位于别什肯特坳陷带和西南基萨尔褶皱隆起区，包含阿盖雷、达什布鲁恩、西召拉麦尔根、召拉麦尔根、霍贾古尔卢克、东霍贾古尔卢克、塔加拉、戈克米亚尔等多个局部构造，是一个大型的油气富集区^[1-4]。区域断裂和多期构造演化对裂缝的发育分布有重要的控制作用^[5-7]，阿姆河东部区块构造挤压作用较强，向中部区块减弱，东部区块表现为裂缝具有多期次、多种类型和发育程度高的特点，储集性能主要表现为中孔隙度、低孔隙度和低渗透率、特低渗透率储层特征^[8-12]。测井资料解释表明，东部区块泥质含量增加，高能相带厚度减薄，受岩相控制的溶蚀孔洞发育程度较中部区块变差，裂缝对储层和产量具有较强的控制作用。

1 不同类型裂缝的岩心与测井特征

1.1 不同类型裂缝的岩心与测井特征对比

根据岩心观察和测井解释的最新研究成果，本区宏观裂缝可以分为4类：全充填裂缝、半充填裂缝、岩溶裂缝和未充填裂缝。它们分别对应于从老到新的不同形成时期：①全充填缝类型较多、成因复杂，为最早期裂缝；②半充填缝主要为高角度或直立的张开度较大、充填度较高的裂缝，为早期裂缝；③岩溶裂缝为早期或早期—中期裂缝，多表现为高角度、单组系特征，对应于大规模岩溶发生前或与之匹配，

遭受地下水溶蚀扩大形成的裂缝与沿裂缝面两侧发育的溶蚀孔洞组成（图1）；④未充填裂缝主要是晚期构造裂缝，多表现为斜交—高角度和单组系特征，裂缝基本未遭受溶蚀和充填作用，解释为晚期构造运动形成，对应于大规模岩溶形成后或油气运移期或稍后（图2）。以上4种裂缝类型中，有效的裂缝是岩溶裂缝和未充填裂缝，其次是半充填缝，而全充填裂缝为无效缝^[13]。根据多井的测井解释，这3类有效裂缝在同一井段基本不叠加，有各自的发育和分布规律。

1.2 岩溶裂缝的储层特征分析

裂缝的价值在于最大可能连通更多的溶蚀孔洞，提高储层的渗透性。裂缝与溶蚀孔洞的组合关系不同，对提高储层渗透性的贡献也不同。本区裂缝与溶蚀孔洞有3种组合模式：①裂缝与溶蚀孔洞无交集（图3-a）；②裂缝切割溶蚀孔洞（图3-b）；③溶蚀孔洞沿裂缝发育（图3-c）。这3种模式形成储层的有效性依次变好。岩溶裂缝就属于第③种模式；未充填裂缝属于第②种模式，也可能表现为第①种模式；半充填裂缝多为第①种模式。

岩溶裂缝的形成是裂缝与岩溶发生的时期配伍性较好，裂缝为地下水活动提供了较好的通道，溶蚀首先沿着裂缝面周边发生，并不断扩大，形成了宽度较大的溶蚀带（图3-c），构成溶蚀孔洞与裂缝组成的储渗一体的系统，孔隙度和渗透率都较高。

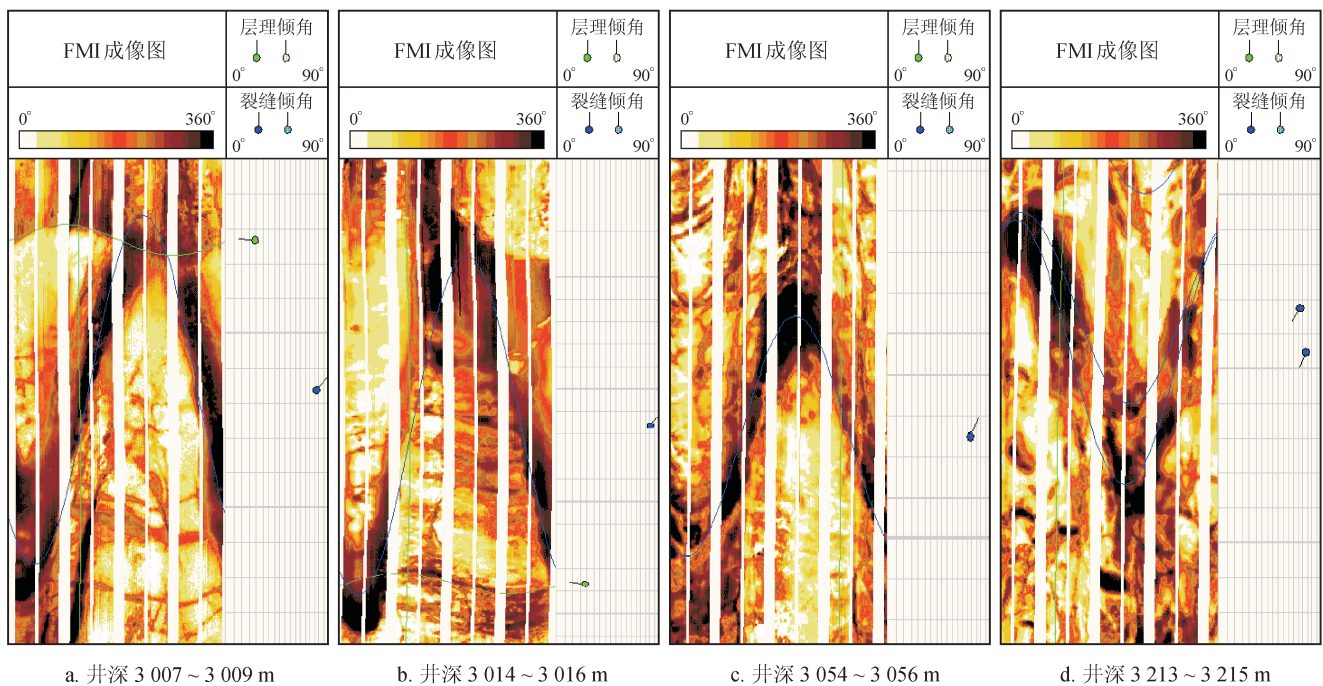


图1 Jor21井早期岩溶裂缝特征图（裂缝宽度大，两侧有溶蚀）

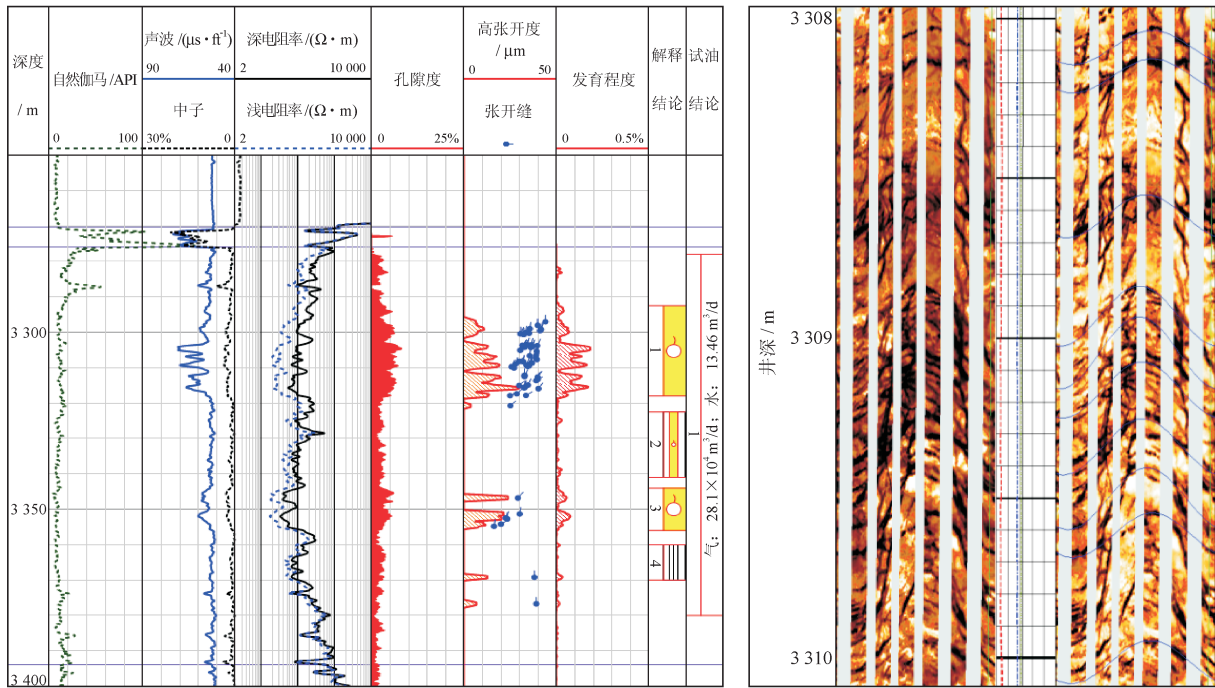
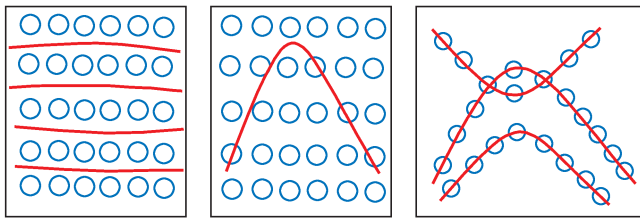


图 2 Aga22 井晚期未充填裂缝特征图 (裂缝密度高、宽度小)



a. 裂缝与溶洞无交集 b. 裂缝与溶洞局部相交 c. 溶洞沿裂缝发育

图 3 溶洞与裂缝的 3 种组合模式图

未充填裂缝与孔洞的关系是地层先发育溶洞,再发育裂缝,裂缝与孔洞为切割关系,缺乏岩溶过程中的成因联系。因此,裂缝只能连通局部的孔洞,故溶洞与裂缝常呈分离状态,只能改善部分储集空间的渗透性。裂缝与孔洞搭配好可获高产气井^[14-15],搭配不好储层变差。

例如 Aga22 井,井深 3 293 ~ 3 318 m 储层段宏观裂缝较发育,裂缝数量多、密度高,测井特征上表现为较高张开度、低孔隙度,裂缝连通部分孔洞,这是典型的晚期未充填裂缝形成的储层,该段测试产气 $28.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (图 2)。

例如 Aga23 井,井深 3 212 ~ 3 234 m 储层段发育的岩溶裂缝,测井特征上表现为高张开度、中等孔隙度的特征,溶蚀孔洞沿裂缝发育形成高渗透溶蚀带,是典型的溶蚀扩大裂缝形成的储层。从电阻率成像对比可看出,该井溶蚀孔洞和裂缝均较发育,由于

沿裂缝面两侧溶蚀程度高,缝洞连通性好,且同一井段发育多条岩溶裂缝,测试结果产气 $121.89 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其产量大大高于 Aga22 井 (图 4)。

2 岩溶裂缝的测井识别方法

2.1 成像测井识别

经地下水充分溶蚀扩大形成岩溶裂缝的测井特征十分明显,易于识别:①裂缝的宽度较大,且沿裂缝面以及裂缝之间电性特征变化较大;②溶蚀孔洞不是顺层分布而是沿裂缝方向分布,造成裂缝面边界不十分清晰,以溶蚀带的形式出现,其内部溶蚀不均匀性和溶蚀的不规则性的电性特征明显;③部分裂缝溶蚀与填充现象均存在;④基本为高角度裂缝,有较好的组系特征。例如 Jor21 井 (图 1):①图 1-a 岩溶裂缝穿过石灰岩段的顶界,被上覆泥质层覆盖,由于裂缝位于顶部低能环境,形成的石灰岩相颗粒细,岩性不纯,含泥质,影响岩溶发育程度,溶蚀带的宽度不大;图 1-b 同样是裂缝位于低能相带,岩石颗粒细,溶蚀程度受限。该类型裂缝发育在以上两种情况下都可以解释为有效储层。②图 1-c 和图 1-d 为裂缝位于有利于岩溶的高能相带,岩石颗粒粗,岩溶程度相对高^[16-17],溶蚀带相对较宽,但沿裂缝面两侧溶蚀程度和溶蚀宽度有差异,同时也观察到部分填充作用。

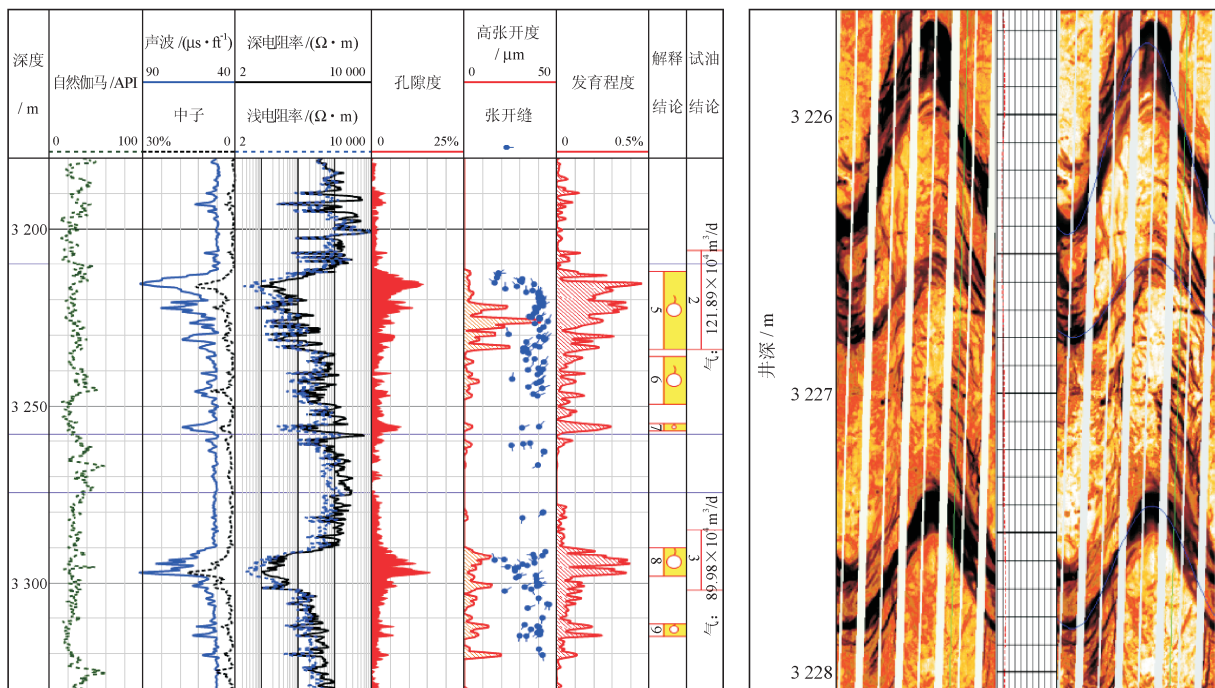


图4 Aga23井裂缝及孔隙发育情况解释成果图

2.2 常规测井识别

利用常规测井3个特征识别岩溶裂缝：①中子、密度和声波三孔隙度均较高，表现为优质储层的测井响应，与压裂缝的低孔隙度特征不同；②声波跳波严重，声波孔隙度远高于中子孔隙度；③深浅双侧向降低幅度较大且正差异特征明显^[18]。例如Aga23井3225~3228m井段（图4）。

3 岩溶裂缝的分布特征

3.1 纵向分布特征

岩溶裂缝主要分布在卡洛夫—牛津阶XVhp层的顶部或中上部，其次分布在XVa2—XVI层之间，少数分布在XVa1层。据统计，这类裂缝以高角度缝为主，成组系出现，倾角相近，倾向一致（图1-a、b、c右边道解释的裂缝倾角与倾向有一致性），岩溶裂缝的倾向多为北东或南西方向，但走向基本为北西—南东方向，说明它们具有明显的组系特征和成因联系^[19]。同时岩溶裂缝的间距大于晚期未充填裂缝，说明裂缝的尺度较大，延伸的长度较长，分布范围广，影响储层分布的范围大。

3.2 平面分布特征

岩溶裂缝主要发育于召拉麦尔根（Jor21、wJor21

井）、霍贾古尔卢克（Hojg21、Hojg22、eHojg21、eHojg22井）、阿盖雷（Aga23井）等井区。同时也在中部区块的部分井中发育，例如Pir23、Yed21、San21、Yal21、Ber22、wOja21、Bush21等井。

4 岩溶裂缝对储层的控制作用

4.1 对储层发育的控制作用

由于岩溶沿裂缝溶蚀，裂缝与溶蚀孔洞之间组成了关联度较高的储渗系统，大尺度裂缝提供了高渗通道^[20]，极大地提高了储层的连通性和产油能力，形成东部区块主要的高产储层类型。通常1条裂缝经溶蚀就能形成1个有效储层，例如Aga23井3256m的1条溶蚀裂缝解释为气层（图4）。同时这类裂缝即使出现在低能相带（较高自然伽马段）也能形成储层，甚至是高产储层，例如Jor21井3210~3252m井段（XVa2~XVI层）发育4条这类裂缝，测试产气 $118 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4.2 对储层纵向分布的控制作用

与顺层溶蚀的储层不同，岩溶裂缝的溶蚀孔洞沿裂缝面分布，裂缝多以单组系的形式存在，形成的储层也是顺裂缝面方向成组系出现。因此，裂缝的延展方向即是储层发育的位置。裂缝的长度、倾角、方位及组系控制了该类储层的空间分布，特别是下部

(XVa1—XVI 层)有效储层的发育与该类裂缝的发育和分布有关,也是下部(XVa2—XVI 层)高自然伽马值地层中仍发育该类储层并高产的原因。说明下部储层发育分布,受溶蚀孔洞发育度和有效裂缝发育分布的双重控制,也是影响下部储层横向分布的不稳定性的因素^[21]。例如, Hojg22 井与 eHojg21 井下部储层发育于较深部的 XVI 层,而 eHojg22 井发育于较高部位的 XVa2 层, Gok21 井发育于更高部位的 XVa1 层,这与井钻遇该类裂缝的位置不同有关。

4.3 对产量的控制作用

高产井与岩溶裂缝的发育密切相关,发育该类裂缝的井都高产,其形成的储层在高产井中占有较大的份额。据统计:天然气产量在 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上的 9 口高产井中,岩溶裂缝形成的储层占 6 口井,占比 66.7%;产量高于 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的解释层有 19 层,11 层为该类型储层,占比 58%。这说明岩溶裂缝对东部区块高产井有重要贡献。

5 结论

1) 岩溶裂缝是东部区块主要的有效裂缝,其中经溶蚀扩大的岩溶裂缝有效地连通了溶蚀孔洞,形成的储层孔隙度高、渗透性好,是东部区块重要的储层类型,也是主要的高产气层。

2) 成像测井和常规测井资料能较好识别和评价岩溶裂缝与未充填裂缝、半充填缝和全充填缝。

3) 岩溶裂缝主要分布于 XVhp 层上部和 XVa2—XVI 层,以高角度为主、成组系出现,建议部署大斜度井或水平井以提高该类裂缝的钻遇率。

参 考 文 献

- [1] 徐文礼,郑荣才,费怀义,孙自金,王强. 土库曼斯坦阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶沉积相特征[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 954-964.
Xu Wenli, Zheng Rongcai, Fei Huaiyi, Sun Zijin & Wang Qiang. The sedimentary facies of Callovian-Oxfordian stage in Amu Darya Basin, Turkmenistan[J]. Geology in China, 2012, 39(4): 954-964.
- [2] 张婷,王强,刘斌. 阿姆河右岸中下侏罗统沉积相及平面展布[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2014, 36(6): 27-38.
Zhang Ting, Wang Qiang & Liu Bin. Sedimentary facies and its lateral distribution of the Middle-Lower Jurassic in Amu Darya Right Bank Area[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2014, 36(6): 27-38.
- [3] 费怀义,徐刚,王强,陈仁金,徐剑良. 阿姆河右岸区块气藏特征[J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 13-17.
Fei Huaiyi, Xu Gang, Wang Qiang, Chen Renjin & Xu Jianliang. Characteristics of gas reservoirs in the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 13-17.
- [4] 王强,程绪斌,费怀义,吴蕾,陈仁金. 阿姆河右岸 A 区气藏成藏过程分析[J]. 天然气勘探与开发, 2012, 35(2): 1-4.
Wang Qiang, Cheng Xubin, Fei Huaiyi, Wu Lei & Chen Renjin. Reservoir-forming process of A block in the Right Bank of the Amu Darya River[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2012, 35(2): 1-4.
- [5] 徐文礼,郑荣才,费怀义,吴蕾,陈守春,李世临,等. 土库曼斯坦阿姆河右岸卡洛夫—牛津阶裂缝特征及形成期次[J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 33-38.
Xu Wenli, Zheng Rongcai, Fei Huaiyi, Wu Lei, Chen Shouchun, Li Shilin, et al. Characteristics and timing of fractures in the Callovian-Oxfordian boundary of the Right Bank of the Amu Darya River, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(4): 33-38.
- [6] 徐剑良,程绪彬,吴蕾,费怀义,邓常念. 阿姆河右岸区块构造演化与成藏条件[J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 18-20.
Xu Jianliang, Cheng Xubin, Wu Lei, Fei Huaiyi & Deng Changnian. Structural evolution and hydrocarbon pooling conditions in the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 18-20.
- [7] 聂明龙,吴蕾,刘斌,侯六根. 土库曼斯坦阿姆河右岸地区断裂特征及其控藏作用[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(3): 365-368.
Nie Minglong, Wu Lei, Liu Bin & Hou Liugen. Fault characteristic and reservoir-control effect in Amu Darya Right Bank Area in Turkmenistan[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(3): 365-368.
- [8] 刘翰林,王甘露,卞华鹏,张峰伟. 阿姆河盆地东南部卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩储层特征[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2014, 31(4): 35-39.
Liu Hanlin, Wang Ganlu, Bian Huapeng & Zhang Fengwei. Carbonate reservoir characteristics of Callovian-Oxfordian in X District of Turkmenistan[J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2014, 31(4): 35-39.
- [9] 董霞,郑荣才,吴蕾,陈仁金,杨锐,李凤杰. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田储层成岩作用与孔隙演化[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 54-61.
Dong Xia, Zheng Rongcai, Wu Lei, Chen Renjin, Yang Rui & Li Fengjie. Diagenesis and porosity evolution rules of carbonate reservoirs of Samandep Gas Field, Turkmenistan[J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(2): 54-61.
- [10] 刘石磊,郑荣才,颜文全,廖军,蒋昊,汪小平. 阿姆河盆地阿盖雷地区牛津阶碳酸盐岩储层特征[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 57-63.
Liu Shilei, Zheng Rongcai, Yan Wenquan, Liao Jun, Jiang Hao & Wang Xiaoping. Characteristics of Oxfordian carbonate reservoir in Agayry Area, Amu Darya Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(1): 57-63.
- [11] 王强,费怀义,刘合年,程绪彬,吴蕾,王兴志. 阿姆河盆地恰什古伊地区卡洛夫—牛津阶储层特征[J]. 岩性油气藏, 2013,

- 25(2): 41-48.
Wang Qiang, Fei Huaiyi, Liu Henian, Cheng Xubin, Wu Lei & Wang Xingzhi. Reservoir characteristics of Callovian-Oxfordian in Chashgui Area, Amu Darya Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(2): 41-48.
- [12] 齐宝权, 冉志兵, 王学琴, 苏孝勇. 阿姆河右岸区块石灰岩储层识别及流体性质判断 [J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 21-25.
Qi Baoquan, Ran Zhibing, Wang Xueqin & Su Xiaoyong. Identification of limestone reservoirs and prediction of their fluid properties in the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 21-25.
- [13] 赵向原, 胡向阳, 曾联波, 肖开华, 李宏涛, 游瑜春, 等. 四川盆地元坝地区长兴组礁滩相储层天然裂缝有效性评价 [J]. 天然气工业, 2017, 37(2): 52-61.
Zhao Xiangyuan, Hu Xiangyang, Zeng Lianbo, Xiao Kaihua, Li Hongtao, You Yuchun, et al. Evaluation on the effectiveness of natural fractures in reef-flat facies reservoirs of Changxing Fm in Yuanba area, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(2): 52-61.
- [14] 刘合年, 吴蕾, 曹来勇, 刘斌. 阿姆河右岸膏盐岩下碳酸盐岩缝洞储层研究 [J]. 石油天然气学报, 2014, 36(3): 46-53.
Liu Henian, Wu Lei, Cao Laiyong & Liu Bin. Study of characteristics of sub-salt gypsum carbonate reservoir on the Right Bank of Amudar'ya Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(3): 46-53.
- [15] 赵良孝, 补勇. 碳酸盐岩储层测井评价技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
Zhao Liangxiao & Bu Yong. Carbonate reservoir logging[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.
- [16] 刘宏, 王高峰, 刘南, 乔琳, 崔健. 自贡地区嘉陵江组台内滩储层特征与主控因素 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2017, 39(5): 1-9.
Liu Hong, Wang Gaofeng, Liu Nan, Qiao Lin & Cui Jian. Characteristics and main controlling factor of shoal reservoir developed in Jialingjiang Formation of Zigong Area, Southwestern Sichuan[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2017, 39(5): 1-9.
- [17] 张本健, 谢继容, 尹宏, 胡欣, 王宇峰, 杨迅, 等. 四川盆地西部龙门山地区中二叠统碳酸盐岩储层特征及勘探方向 [J]. 天然气工业, 2018, 38(2): 33-42.
Zhang Benjian, Xie Jirong, Yin Hong, Hu Xin, Wang Yufeng, Yang Xun, et al. Characteristics and exploration direction of the Middle Permian carbonate reservoirs in the Longmenshan mountain areas, western Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(2): 33-42.
- [18] 张树东. 复杂高电阻率碳酸盐岩储层深浅双侧向的解释探讨 [J]. 测井技术, 2005, 29(1): 33-36.
Zhang Shudong. On deep & shallow laterolog data interpretation of complex carbonate reservoir with high resistivity[J]. Well Logging Technology, 2005, 29(1): 33-36.
- [19] 张树东, 司马立强, 刘萍英, 齐宝权, 贺洪举. 基于测井新技术解释有效裂缝发育规律 [J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(1): 23-25.
Zhang Shudong, Sima Liqiang, Liu Pingying, Qi Baoquan & He Hongju. Interpret the law of effective fracture development based on new technology in well logging[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(1): 23-25.
- [20] 薛江龙, 周志军, 刘应飞. H区块缝洞单元连通方式及注水开发对策研究 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2017, 39(3): 128-134.
Xue Jianglong, Zhou Zhijun & Liu Yingfei. Study on the connection type of fracture-cavity unit in H Block and water flooding development strategy[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2017, 39(3): 128-134.
- [21] 包强, 陈虹, 张晓东, 尹平, 代琤, 杨锐. 萨曼杰佩气田老测井资料处理解释与储层评价 [J]. 天然气工业, 2009, 29(11): 38-40.
Bao Qiang, Chen Hong, Zhang Xiaodong, Yin Ping, Dai Zheng & Yang Rui. Processing and interpretation of old log data and reservoir description of the Samandepe Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(11): 38-40.

(收稿日期 2018-02-07 编辑 韩晓渝)