

## 车排子地区火山岩储集空间发育特征及有利区带预测

苗春欣,傅爱兵,关丽,余光华,李燕,商丰凯,倪自高,王继红  
(中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东东营 257015)

**摘要:**为研究车排子地区火山岩储层发育特征,利用显微镜及CT扫描方法观测不同岩性火山岩的储集空间发育特征,结合地质条件探讨次生作用对火山岩孔隙演化的影响,以岩心、测井及荧光薄片等资料分析储层含油性与其储层类型的关系。研究表明,研究区火山岩原生孔隙及裂缝的发育受岩相—岩性控制,并影响其次生作用程度。对于安山质角砾岩和安山岩,普遍发育的气孔、收缩缝和火山玻璃为后期应力作用下的裂缝扩张及地表和地下水的渗入、溶蚀、沉淀提供了有利条件;对于凝灰岩,由于较强的水解溶蚀作用,颗粒严重蚀变,机械压实作用较强,原生储集空间多被充填,储集性能较差。研究区火山岩储层的含油性主要与裂缝的发育程度有关,只有位于有效裂缝附近的基质孔隙才可能含油。根据测井资料计算车排子地区火山岩的基质孔隙度、裂缝孔隙度及裂缝孔隙度分布指数,并据此预测有利区带主要分布于研究区南部排674井附近、东部排66井附近以及西北部排682井附近。

**关键词:**火山岩 原生孔隙 裂缝 孔隙度 车排子凸起 准噶尔盆地

中图分类号:TE112.222

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)06-0027-05

## Reservoir space characteristics and favorable area prediction of volcanic rocks in Chepaizi area, Junggar Basin

Miao Chunxin, Fu Aibing, Guan Li, Yu Guanghua, Li Yan, Shang Fengkai, Ni Zigao, Wang Jihong

(Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

**Abstract:** For the purpose of accurately forecasting development of favorable volcanic reservoirs in Chepaizi area, Junggar Basin, the pores/fractures characteristics of different lithologies of volcanic rock were observed with microscope and Computer Tomography (CT). And then effects of secondary action on volcanic rock evolution were discussed combining with geological conditions. Moreover, the relationship between oil-bearing and reservoir characteristics of volcanic reservoir were ascertained with core analysis, log data interpretation and fluorescence slice observation. The results show that in the study area, the lithologies and lithofacies of volcanic rock control the development of primary pores/fractures of volcanic rocks, and they also affect the formation and development of secondary pore/fractures. Vesicles, contraction fractures, volcanic glasses are commonly found in rocks of andesite and andesitic breccias, which can provide initial reservoir spaces for the extension of fracture under tectonic stresses and for the infiltration, dissolution and precipitation of surface and underground water. As for the tuff, its particles were altered seriously due to the hydrolysis-dissolution of unstable minerals and the majorities of primary pores were refilled due to strong mechanical compaction underground, so the volume of reservoir space was reduced dramatically and its property became poor. Almost all of the oil-bearing volcanic rocks in the study area are relative to fractures, and the oil-filling pores are only found near fractures. According to this, the pore porosity, the fracture porosity, and the fracture factors of volcanic rocks were calculated using log data, therefore the favorite reservoir areas of volcanic rocks in the study area were forecasted, which include the south area near Well Pai 674, the east area near Well

收稿日期:2015-09-11。

作者简介:苗春欣(1974—),女,辽宁兴城人,工程师,从事石油地质及储量研究工作。联系电话:13854681504, E-mail:149283520@qq.com。

基金项目:中国石化重大导向项目“准噶尔盆地重点区带评价与突破目标”。

Pai 66, and the northwest area near Well Pai 682.

**Key words:** volcanic rock; primary pore; fracture; porosity; Chepaizi uplift; Junggar Basin

火山岩是岩浆经火山通道喷出地表形成的一种岩浆岩。火山岩油气藏作为油气勘探的新领域,已引起普遍关注,逐渐成为研究的热点。相对于常规砂岩,火山岩的成分特征、喷发岩相、次生作用各异,导致其储集性能存在较大差异。准噶尔盆地西北缘经历了多期不同性质的构造演化<sup>[1-2]</sup>,车排子地区石炭系广泛发育火山岩,且位于油气运移的有利指向区<sup>[3-11]</sup>,截至2013年底已上报石炭系火山岩控制石油地质储量 $2\,904.73 \times 10^4$  t。车排子地区石炭系火山岩丰富的勘探成果展示出该地区较好的勘探前景。对其火山岩储集空间发育特征及演化机制进行研究,预测有利区带分布,对研究区油气勘探的深入挖潜具有重要意义,且对于相似地质背景的火山岩勘探亦具有一定的借鉴作用。

## 1 区域地质概况

车排子凸起为准噶尔盆地西部的隆起构造单元,其东以红一车断裂带为界与昌吉凹陷及中拐凸起相接,南邻四棵树凹陷,西及西北部为扎伊尔山,北与克一夏断褶带相接。以西北部扎伊尔山前隆起幅度最高,向东部和南部隆起幅度逐渐降低,东南部至奎屯—安集海一带逐渐隐伏消失。车排子凸起大部分地区缺失二叠系、三叠系和侏罗系,白垩系、古近系或新近系直接超覆于石炭系之上<sup>[2]</sup>。

车排子地区石炭系上部普遍发育火成岩组合,岩性种类多样,包括火山碎屑岩类、火山熔岩类、侵入岩类等均有发育,以安山质火山喷发岩为主。研究区火山岩经历了晚海西期—燕山期多期构造运

动<sup>[12-13]</sup>,地层遭受强烈挤压,受推覆作用及长期风化剥蚀、淋滤改造作用,次生孔隙及裂缝较为发育,储集条件较好,是春风油田石炭系重要的含油层段。

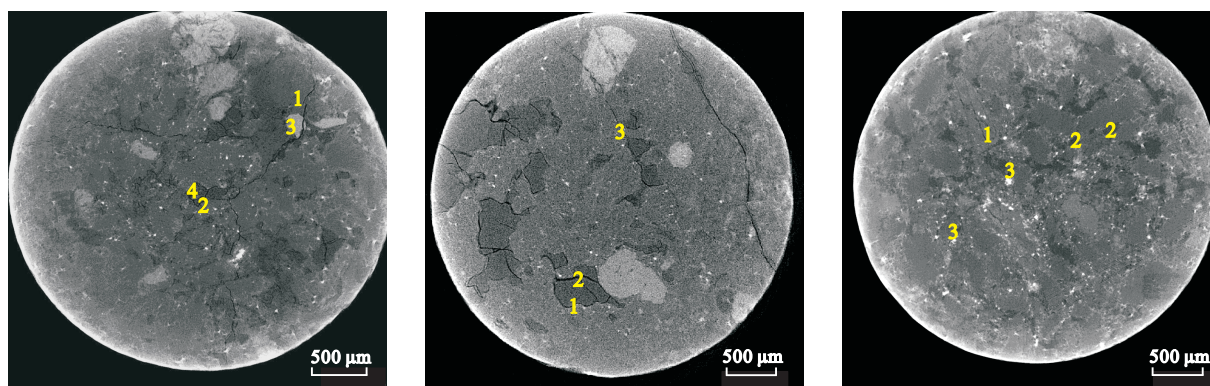
## 2 火山岩储集空间发育特征及演化机制

### 2.1 储集空间发育特征

火山岩的储集空间类型有原生成因(喷出、溢流冷凝过程中或凝灰堆积过程中形成)和次生成因2种,分析原生储集空间发育特征,有利于深入研究火山岩储集空间的形成、演化,进而可以对有利储集空间分布进行合理地预测。采用显微镜观测和CT扫描成像2种方法对车排子地区火山岩原生储集空间的发育特征进行研究。

#### 2.1.1 角砾岩

研究区角砾岩的砾(粒)间孔隙多被安山岩、火山玻璃、凝灰质、火山灰及火山灰水解产物等充填,个别样品砾(粒)间孔隙后期被方解石充填,因此难以识别及描述原生砾(粒)间孔隙的发育特征。安山质角砾岩的安山岩基质内发育气泡和基质裂缝,在角砾岩样品中可见3种典型的熔岩快速冷凝过程中形成的收缩缝(图1a),分别为:①岩浆冷凝过程中形成的砾石或颗粒与岩浆接触边缘的收缩缝;②岩浆冷凝过程中不同组分(如火山玻璃与岩浆基质)凝点差异造成的收缩缝,在凝结过程中高凝点组分(岩浆基质)冷凝之后,低凝点组分(火山玻璃等)再冷凝,围绕低凝点组分周围或在低凝点组分内部形成的收缩缝;③岩浆冷凝过程中形成的局部



a—角砾岩  
1—颗粒边缘缝; 2—收缩缝;  
3—颗粒内缝; 4—火山玻璃

b—安山岩  
1—火山玻璃周围收缩缝; 2—火山  
玻璃内部收缩缝; 3—局部裂缝

c—凝灰岩  
1—凝灰颗粒内缝; 2—凝灰  
颗粒; 3—重矿物

图1 车排子地区火山岩CT扫描成像结果

Fig.1 CT images of volcanic rock samples of Chepaizi area, Junggar Basin

张力,导致岩浆内颗粒断裂而形成的裂缝。这些普遍发育的气孔、收缩缝为后期应力作用下的裂缝扩张、地表及地下水渗入、溶蚀和沉淀创造了有利条件。此外,火山玻璃为化学性质不稳定组分,易发生溶蚀及去玻璃化作用而形成有利的储集空间<sup>[14]</sup>。

### 2.1.2 安山岩

安山岩中普遍发育斑晶,基质多为隐晶结构,多见一定含量的火山玻璃。安山岩内部普遍发育气孔及收缩缝,其收缩缝主要有3种(图1b):①火山玻璃周缘发育的收缩缝;②火山玻璃内部发育的收缩缝;③安山岩整体冷凝过程中形成的局部裂缝,且这种裂缝可以切割部分颗粒、玻璃边缘缝隙及玻璃内部,部分火山玻璃与收缩缝可形成串珠状产出。此外,安山岩内部普遍发育的气孔、各种裂缝及火山玻璃,可能是导致其后期次生孔隙较为发育的主要原因。

### 2.1.3 凝灰岩

分析CT扫描成像结果发现,研究区安山岩喷发成因形成的凝灰岩中的颗粒大多呈椭球状,棱角不发育,表明在堆积后发生过强烈的蚀变作用,包括去玻璃化作用等。显微镜下也可以明显观测到凝灰岩孔隙中的充填物包含大量去玻璃化作用所形成的蚀变产物绿泥石等,且在部分颗粒周围见大量重矿物(图1c)。除部分矿物颗粒内部有少量粒内缝之外,凝灰岩中的原生孔隙大多被充填,储集性能相对较差。

## 2.2 储集空间演化机制

### 2.2.1 断裂作用

车排子地区位于准噶尔盆地西北缘冲断带前端,构造运动剧烈,断层十分发育。依据断层的性质和走向,可将研究区发育的断层划分为2组:一组断层为海西期—印支期形成,后期持续活动,从石炭系断至侏罗系底部的一系列近南北走向的逆冲断层;另一组为喜马拉雅期形成,从石炭系断至新近系的张性正断层<sup>[15-16]</sup>。受控于车排子凸起东部的东西向主应力场作用,在研究区形成一系列近南北走向的较大规模断层;且由于构造应力的调整,派生出一系列近东西走向的调节性断层。在研究区断层附近形成火山岩构造裂缝发育区,其裂缝具有开启度大、延伸远、倾角变化大等特点。根据成像测井资料对研究区排61和排66井石炭系火山岩裂缝产状进行统计,结果表明,其裂缝走向以北东和北西向为主,反映出断裂作用对构造裂缝发育的控制作用。研究区裂缝的发育为火山岩提供了新的储集空间,且断层及其周缘的构造裂缝还为大气水

的下渗提供了渗流通道,致使断层附近火山岩发生溶蚀作用,形成大量溶蚀孔隙,有效改善储集物性。

### 2.2.2 风化、淋滤、溶蚀及压实作用

车排子地区火山岩自形成后遭受强烈的风化和淋滤作用,且在后期埋藏过程中又受到地下水溶蚀<sup>[17]</sup>及压实等作用。风化和淋滤作用使火山岩顶部形成风化破碎带,下部形成风化淋滤裂缝。研究区火山岩的风化程度自风化面向下逐渐降低,风化微裂缝发育程度逐渐变差,溶蚀程度逐渐减弱。由于风化淋滤裂缝的存在,致使裂缝发育带的溶蚀作用增强,溶蚀孔洞较为发育;对于不稳定组分,尤其是火山玻璃含量越高,溶蚀作用越强烈,同时也存在一定的风化、淋滤作用后的原生孔隙或溶蚀孔隙被充填现象。在埋藏过程中,经断裂或裂缝进入的地下水的溶蚀作用,也会导致火山岩中不稳定组分(如火山玻璃等)的水解溶蚀,使孔隙度增大,而上覆沉积物进一步压实则会导致原始粒间孔隙减少。

研究区不同岩相—岩性火山岩的抗风化、淋滤、地下水溶蚀及压实作用的能力不同。对于凝灰岩,其沉积后颗粒间的孔隙较为发育,更易遭受地表风化、淋滤及地下水溶蚀等作用,导致不稳定矿物大部分蚀变为微小颗粒充填粒间,且其他微细的沉积颗粒也在堆积过程中填充粒间孔隙,导致孔隙度减小。此外,由于大量细小蚀变颗粒的存在,导致岩石具有一定的塑性,在压实作用下使粒间孔隙进一步减少。对于爆发相—溢流相的安山质角砾岩和安山岩,在出露地表时,其内部发育大量的收缩缝,成为风化、淋滤作用的良好通道,既可以溶蚀岩石中的不稳定组分,又可以扩大成岩收缩裂缝。在埋藏过程中,由于安山质角砾岩和安山岩喷发成岩后具有较强的脆性,易在构造应力作用下形成大量裂缝及微裂缝,且受机械压实作用的影响较小,有利于孔隙的保存。

综合分析车排子地区火山岩储集空间发育特征及演化机制,认为研究区有利储集岩相—岩性为爆发相—溢流相安山质角砾岩、溢流相安山岩及溢流相—沉积凝灰岩过渡带安山质凝灰岩。

## 3 火山岩有利区带预测

岩心、测井及荧光薄片等资料的分析结果表明,车排子地区火山岩的含油性主要与裂缝发育程度有关,裂缝型储层和裂缝—孔隙型储层为有利的储集空间类型。对于裂缝较为发育的裂缝型储层和裂缝—孔隙型储层,其岩心资料和荧光薄片资料

均证实具有较好的含油性。对于裂缝不发育的储层,尽管物性较好,但基本不含油。只有被裂缝沟通的储层,才可能成为有效储层;因此,车排子地区火山岩有利储集区的预测,主要依据其裂缝发育程度的预测。

### 3.1 储层评价参数的求取

车排子地区火山岩的储层评价参数主要选取基质孔隙度、裂缝孔隙度及裂缝孔隙度分布指数。基质孔隙度是指不包含裂缝的孔隙度。选取研究区石炭系火山岩的岩心分析孔隙度、声波时差测井、密度测井和补偿中子测井资料,经多元回归建立研究区石炭系火山岩基质孔隙度的计算公式为

$$\phi_p = 0.03\Delta t - 15.14\rho + 0.49CNL + 37.78 \quad (1)$$

式中:  $\phi_p$  为基质孔隙度,%;  $\Delta t$  为声波时差,  $\mu\text{s}/\text{ft}$ ;  $\rho$  为密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $CNL$  为补偿中子孔隙度, %。

电阻率对裂缝孔隙度反映最为敏感,选取双向电阻率测井数据对裂缝孔隙度进行计算,其计算公式为

$$\phi_f = (A_1 R_{LLS} + A_2 R_{LLd} + A_3) R_f \quad (2)$$

式中:  $\phi_f$  为裂缝孔隙度,%;  $A_1$ ,  $A_2$  和  $A_3$  为系数,分别依据裂缝倾角的变化而选取不同的数值;  $R_{LLS}$  和  $R_{LLd}$  分别为深侧向和浅侧向电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;  $R_f$  为裂缝内流体的电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ 。

为了确定裂缝孔隙度在总孔隙度中所占的比例,引入裂缝孔隙度分布指数的概念,定义为裂缝孔隙度与基质孔隙度的比值,其表达式为

$$V_f = \frac{\phi_f}{\phi_p} \quad (3)$$

式中:  $V_f$  为裂缝孔隙度分布指数。

### 3.2 有利区带预测

根据车排子地区石炭系单井储层评价参数的计算结果,绘制其裂缝孔隙度和裂缝孔隙度分布指数平面分布(图2,图3)。结果表明,研究区裂缝孔隙度和裂缝孔隙度分布指数的相对高值区主要分布于南部排674和东部的排66井附近,其裂缝孔隙度的最大值分别约为14%和12%,裂缝孔隙度分布指数的最大值分别为0.9和1.4。向研究区西北部裂缝孔隙度及裂缝孔隙度分布指数逐渐降低,但在排682井附近为裂缝孔隙度和裂缝孔隙度分布指数相对较高值区,其裂缝孔隙度为3.6%,裂缝孔隙度分布指数为0.54。因此,车排子地区有利区带主要分布于南部排674井和东部的排66井附近,其次为西北部的排682井附近,而研究区中部火山岩的储集性能则相对较差。

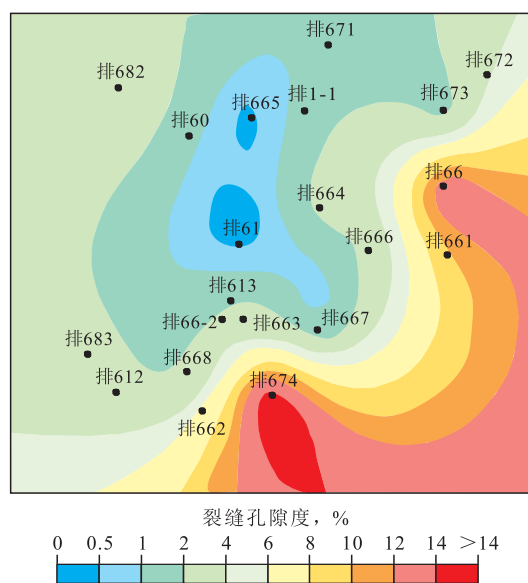


图2 车排子地区火山岩裂缝孔隙度平面分布

Fig.2 Contour map of fracture porosity of volcanic rocks in Chepaizi area, Junggar Basin

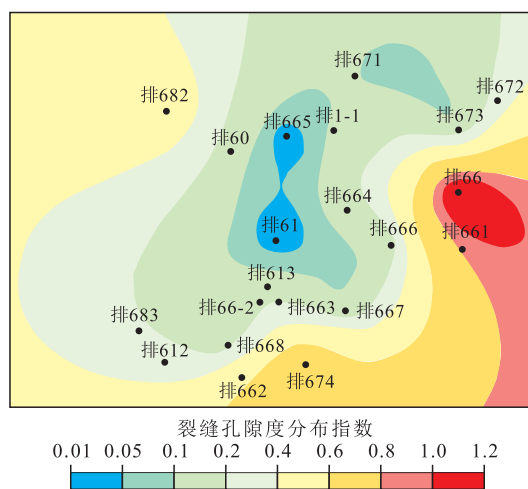


图3 车排子地区火山岩裂缝孔隙度分布指数平面分布

Fig.3 Contour map of distribution index of fracture porosity of volcanic rocks in Chepaizi area, Junggar Basin

## 4 结论

利用显微镜观察及CT扫描成像方法,对车排子地区石炭系角砾岩、安山岩和凝灰岩进行原生孔隙及裂缝的研究,结果表明,研究区火山岩原生孔隙及裂缝的发育主要受岩相—岩性的控制,并影响其次生作用程度;储集空间的演化受控于断裂、风化、淋滤、溶蚀及压实等次生作用,且不同岩相—岩性火山岩储集空间的发育受后期次生作用的影响程度存在差异。综合储集空间发育特征及演化机制,认为研究区有利储集岩相—岩性为爆发相—溢流相安山质角砾岩、溢流相安山岩及溢流相—沉积凝灰岩过渡带安山质凝灰岩。岩心、测井及荧光薄片

等资料的分析结果表明,研究区火山岩的含油性主要与裂缝发育程度相关,裂缝型和裂缝—孔隙型储层为有利的储集空间类型。根据测井资料计算研究区石炭系火山岩单井的基质孔隙度、裂缝孔隙度和裂缝孔隙度分布指数,据此对火山岩有利区带进行预测;车排子地区有利区带主要分布于南部排674井和东部排66井附近,其次为西北部排682井附近,而研究区中部火山岩储集性能相对较差。

#### 参考文献:

- [1] 雷振宇,卞德智,杜社宽,等.准噶尔盆地西北缘扇体形成特征及油气分布规律[J].石油学报,2005,26(1):8-12.  
Lei Zhenyu, Bian Dezhi, Du Shekuan, et al.Characteristics of fan forming and oil-gas distribution in west-north margin of Junggar Basin[J].Acta Petrolei Sinica,2005,26(1):8-12.
- [2] 雷振宇,鲁兵,蔚远江,等.准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布[J].石油与天然气地质,2005,26(1):86-91.  
Lei Zhenyu, Lu Bing, Wei Yuanjiang, et al.Tectonic evolution and development and distribution of fans on northwestern edge of Junggar Basin[J].Oil & Gas Geology,2005,26(1):86-91.
- [3] 关键,贾春明,赵卫军.成像测井资料在车排子地区火山岩储层研究中的应用[J].新疆地质,2008,26(4):415-417.  
Guan Jian, Jia Chunming, Zhao Weijun.Application of imaging logging data for researching on volcanic reservoir in Chepaizi area [J].Xinjiang Geology,2008,26(4):415-417.
- [4] 刘传虎,王学忠.准噶尔盆地车排子地区层序地层结构及有利储集相带[J].新疆石油地质,2012,33(1):1-5.  
Liu Chuanhu, Wang Xuezhong.Stratigraphic sequence structure and favorable facies belt in Chepaizi area of Junggar basin [J].Xinjiang Petroleum Geology,2012,33(1):1-5.
- [5] 王振奇,郑勇,支东明,等.车排子地区石炭系油气成藏模式[J].石油天然气学报,2010,32(2):21-25.  
Wang Zhenqi, Zheng Yong, Zhi Dongming, et al.Hydrocarbon accumulation patterns of Carboniferous formation in Chepaizi Area [J].Journal of Oil and Gas Technology,2010,32(2):21-25.
- [6] 张学军,徐兴友,邢丽雯,等.沥青质含量在车排子地区油气成藏研究中的应用[J].油气地质与采收率,2013,20(4):25-29.  
Zhang Xuejun, Xu Xingyou, Xing Liwen, et al.Application of asphaltene content for study of oil and gas accumulation in Chepaizi area [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2013,20(4):25-29.
- [7] 王军.准噶尔盆地车排子地区新近系沙湾组沉积特征[J].油气地质与采收率,2013,20(4):30-32,36.  
Wang Jun.Sedimentary characteristics of Neogene Shawan formation reservoirs in Chepaizi area, Junggar basin[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2013,20(4):30-32,36.
- [8] 王金铸,王学忠.车排子斜坡带岩性油藏的高效勘探[J].特种油气藏,2013,20(2):20-24.  
Wang Jinzhu, Wang Xuezhong.Efficient exploration of lithologic reservoir in the Chepaizi slope zone of western Junggar Basin [J].Special Oil & Gas Reservoirs,2013,20(2):20-24.
- [9] 任英姿.车排子凸起新近系沙湾组原油轻烃地球化学特征及油源分析[J].油气地质与采收率,2014,21(3):10-14.  
Ren Yingzi.Geochemical characteristic of light hydrocarbon in crude oil, Shawan formation of Chepaizi uplift [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2014,21(3):10-14.
- [10] 董臣强.车排子地区火成岩油气成藏条件及勘探关键技术[J].油气地质与采收率,2015,22(2):45-50.  
Dong Chenqiang.Hydrocarbon accumulation conditions and key exploration technologies of igneous rock in the Chepaizi area [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2015,22(2):45-50.
- [11] 董大伟,李理,刘建,等.准噶尔西缘车排子凸起东北部断层封闭性[J].石油与天然气地质,2014,35(5):639-645.  
Dong Dawei, Li Li, Liu Jian, et al.Sealing ability of faults in north-eastern Chepaizi Uplift at western margin of Junggar Basin [J].Oil & Gas Geology,2014,35(5):639-645.
- [12] 陈岩,刘瑞兰,王泽华,等.车排子油田火山岩储层三维裂缝定量模型研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(2):54-56.  
Chen Yan, Liu Ruilan, Wang Zehua, et al.3D quantitative fracture model of igneous rock reservoir in Chepaizi Oilfield [J].Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition,2008,30(2):54-56.
- [13] 王坤,张奉,张翊,等.准西车排子凸起石炭系岩性识别与储层特征[J].西南石油大学学报:自然科学版,2014,36(4):21-28.  
Wang Kun, Zhang Feng, Zhang Yi, et al.Identification of the lithology of Carboniferous and its reservoir characteristics in Chepaizi uplift, Junggar Basin [J].Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition,2014,36(4):21-28.
- [14] 张秉良,洪汉净,刘辉,等.火山玻璃风化层的透射电镜研究[J].矿物学报,2008,28(3):251-254.  
Zhang Bingliang, Hong Hanjing, Liu Hui, et al.TEM study of weathered layers on the surface of volcanic glass [J].Acta Mineralogica Sinica,2008,28(3):251-254.
- [15] 徐常胜,杜社宽,黄建良,等.车排子凸起沙湾组油藏特征与成藏主控因素[J].新疆石油地质,2013,34(3):258-261.  
Xu Changsheng, Du Shekuan, Huang Jianliang, et al.Characteristics and key controlling factors for oil-gas accumulation of Neogene Shawan reservoir in Chepaizi swell, Junggar basin [J].Xinjiang Petroleum Geology,2013,34(3):258-261.
- [16] 金鑫,陆永潮,卢林,等.准噶尔盆地车排子地区中、新生界沉降史分析[J].海洋石油,2007,27(3):51-56.  
Jin Xin, Lu Yongchao, Lu Lin, et al.Analysis of the mesozoic-cenozoic subsidence history in Chepaizi Area, Junggar Basin [J].Offshore Oil,2007,27(3):51-56.
- [17] 任国选,侯读杰,史玉玲,等.准噶尔盆地西北缘红山嘴油田地层水特征与油气藏聚集关系[J].石油与天然气地质,2013,34(2):179-184.  
Ren Guoxuan, Hou Dujie, Shi Yuling, et al.Relationship between formation water characteristics and hydrocarbon accumulation in Hongshangzui oilfield in the northwestern margin of the Junggar Basin [J].Oil & Gas Geology,2013,34(2):179-184.