

# 车排子地区火成岩油气成藏条件及勘探关键技术

董臣强

(中国石化胜利油田分公司 新春采油厂, 山东 东营 257000)

**摘要:**准噶尔盆地西缘车排子地区石炭系火成岩勘探存在较多难题。其石炭系火成岩储层地震反射杂乱,预测火成岩有利储层分布及裂缝有利发育区的难度较大。根据钻井和地震资料,利用重磁电预测技术和地震预测技术等对车排子地区石炭系火成岩的烃源岩条件、油气成藏条件及勘探关键技术等进行研究,结果表明,研究区自海西期形成以来长期继承性隆起,是油气的有利运移指向区;昌吉凹陷和四棵树凹陷的油气通过断层和裂缝运移至石炭系火成岩裂缝—孔隙型储层中聚集成藏;研究区石炭系火成岩具有生烃条件,可以提供油源形成自生自储型油气藏。车排子地区石炭系发育巨厚火成岩,并已获得工业油气流;其火成岩储层的含油气性主要与裂缝发育程度成正比。根据研究区石炭系火成岩储层、断裂破碎带及裂缝分布的预测结果,已成功钻探32口井,其中11口井获得工业油气流,已上报控制石油地质储量 $6.101 \times 10^4$  t。

**关键词:**火成岩 油气成藏条件 勘探关键技术 石炭系 车排子地区 准噶尔盆地

中图分类号:TE112.3

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)02-0045-06

## Hydrocarbon accumulation conditions and key exploration technologies of igneous rock in the Chepaizi area

Dong Chenqiang

(Xinchun Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257000, China)

**Abstract:** The difficulty of Carboniferous igneous exploration in the Chepaizi area which is located in the west edge of Junggar Basin was studied. The seismic reflection of reservoir rock is clutter, so it is difficult to predict the favorable reservoir and crack areas. According to the drilling and seismic data, the gravity, magnetic, electric data and the seismic prediction technology were used to study hydrocarbon source rock conditions, hydrocarbon accumulation conditions and the key exploration technologies of the igneous rocks. The results showed that the study area was uplifted successively in a long term since it was formed during the Hercynian, and it is favorable for hydrocarbon migration. The oil and gas from Changji sag and Sikeshu sag migrated into fractured-porous reservoirs of igneous rock through faults and fractures and then accumulated there. The igneous rocks should have hydrocarbon generating conditions, which maybe provide oil source and was able to form a self-sourced and self-reservoired oil and gas pool. The industrial oil and gas obtained from the thick igneous rock developed in Carboniferous in the Chepaizi area. The oil-bearing property of the igneous rock reservoir is mainly correlated with the degree of fractures development. According to the predicted results of igneous rock reservoir, fracture zone and crack distribution, 32 wells were drilled successfully, among which 11 wells were drilled at industrial oil and gas. The controlled geological oil reserves were reported to be  $6.101 \times 10^4$  t.

**Key words:** igneous rock; hydrocarbon accumulation condition; key exploration technology; Carboniferous system; Chepaizi area; Junggar Basin

准噶尔盆地西缘车排子地区以新近系沙湾组为主要开发层系,2014年产油量为 $86 \times 10^4$  t。2010

年研究区排60井于石炭系火成岩钻遇油花显示,2011年排61井于石炭系火成岩获得工业油气流,使

收稿日期:2015-01-10。

作者简介:董臣强(1970—),男,山东平度人,高级工程师,博士,从事油气勘探研究及管理工作。联系电话:13561009311,E-mail:dcq010@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“准噶尔盆地碎屑岩层系大中型油气田形成规律与勘探方向”(2011ZX05002-002),中国石化科技攻关项目“新疆北部石炭系成烃成藏与勘探方向”(P12035)。

石炭系逐渐成为研究区重要的勘探层系。目前制约车排子地区石炭系火成岩勘探的问题较多,主要有地震资料主频低、信噪比低、品质差,导致构造解释的难度较大<sup>[1]</sup>;火成岩地震反射特征杂乱,导致预测火成岩有利储层发育区的难度较大<sup>[2]</sup>;油层与水层的电测曲线特征无明显差异,导致测井评价的难度较大<sup>[3]</sup>;勘探程度低,钻井资料缺乏,探井密度仅为0.1口/km<sup>2</sup>等。因此,有必要针对车排子地区石炭系火成岩的烃源岩条件、油气成藏条件以及勘探关键技术等进行研究,以期研究区油气规模开发提供依据。

### 1 地质概况

车排子地区东以红一车断裂带与昌吉凹陷相连,南临四棵树凹陷,西北为扎伊尔山,北临克一夏断阶带(图1)。现今准噶尔盆地南北向和东西向地质剖面分析结果表明,石炭系广泛分布,为准噶尔盆地的基底地层。车排子凸起钻井资料揭示,其钻遇石炭系最大厚度为1 816 m,根据地震资料推测石炭系厚度应大于5 000 m。研究区二叠系和三叠系全部缺失,侏罗系部分缺失,沙湾组直接覆盖于石炭系之上,整体呈由东南向西北抬升的单斜构造。

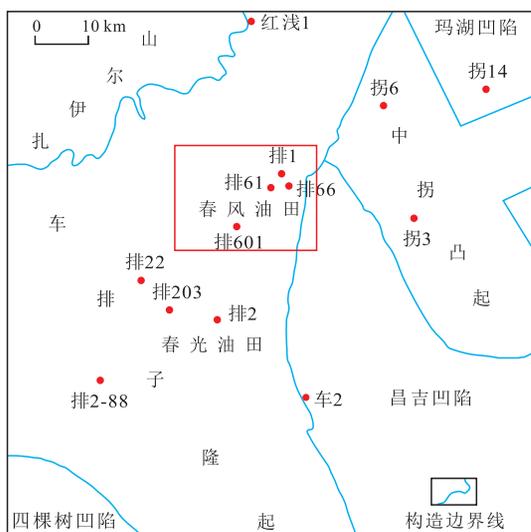


图1 车排子地区构造位置及井位分布

Fig.1 The structure and well location map of Chepaizi area

车排子地区石炭系发育的安山岩、凝灰岩、玄武岩及火山角砾岩均见到油斑以上级别的油气显示。其油气主要沿裂缝和溶蚀孔洞运聚成藏,储集空间以裂缝、裂缝—溶蚀孔洞为主,且距离石炭系顶面较近、断层较发育区域的岩石风化作用相对较强<sup>[4]</sup>,易于形成孔隙—裂缝型储层。岩心分析结果显示,研究区石炭系火成岩储层的孔隙度为6%~

16%,渗透率为 $1 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图2)。裂缝或溶洞发育段的物性条件较好,且微裂缝的发育使储层渗透性变好,孔隙结构的微喉特征是造成研究区储层基质渗透率较低的主要原因。排66井区油气显示活跃井段与石炭系顶面的距离为35~65 m。截至2014年12月,车排子地区已有32口井钻遇石炭系火成岩储层,其中11口井于石炭系火成岩获得工业油气流,6口井正式投产,产油量为20.8 t/d,累积产油量为15 048 t,含水率为41%。截至2014年底,车排子地区石炭系火成岩共上报控制石油地质储量 $6 101 \times 10^4 \text{ t}$ 。

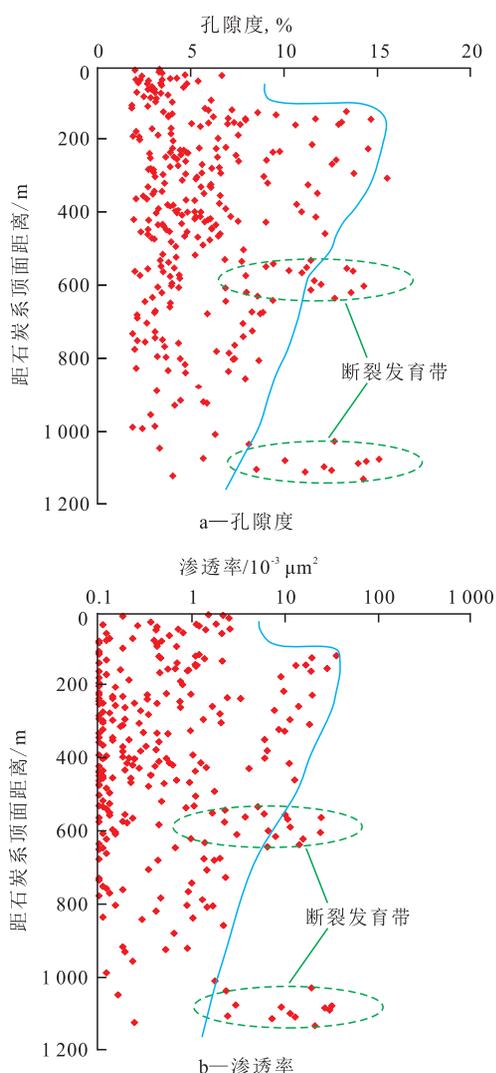


图2 车排子地区石炭系火成岩储层物性特征

Fig.2 The petrophysical characteristics of Carboniferous igneous in Chepaizi area

### 2 烃源岩条件

前人认为车排子地区石炭系的油源来自昌吉凹陷或四棵树凹陷二叠系,经过20~60 km长距离运聚成藏;但通过对烃源岩条件及生烃能力等分析

发现,车排子地区石炭系也具有生烃条件。

石炭纪准噶尔盆地位于赤道区,三面环海,至晚石炭世在其西北缘尚有残余洋盆发育,至二叠纪这些洋盆才最终关闭<sup>[5]</sup>。火山喷发产生的气体及火山灰在海水中释放营养物质,促使藻类和细菌大量生长,导致石炭系凝灰质泥岩中富集有机质<sup>[6-7]</sup>。车排子地区车25井石炭系火山凝灰岩的有机碳含量为1%~3%,为好生油岩。排66、排67、排68、排70、排667、排668和排669等7口井均钻遇较厚的石炭系泥岩。其中,排66井自埋深2 100 m开始钻遇深灰色泥岩和黑色炭质泥岩,厚度达500 m,2 130 m处石炭系泥岩的有机碳含量为0.85%,镜质组反射率为0.93%,处于生烃高峰期。北部排67井自石炭系顶部埋深1 016 m开始钻遇深灰色凝灰质泥岩,厚

度达700 m;其石炭系泥岩的有机碳含量为0.7%~1.0%,平均为0.8%,镜质组反射率为0.8%~1.0%,处于生烃高峰期,具备生烃能力<sup>[8-10]</sup>。排68井埋深1 302 m处石炭系灰黑色泥岩的有机碳含量为0.14%~0.76%,最高热解峰温为514~523℃,已达到成熟阶段。南部排70井自埋深695 m开始钻遇绿灰色硅化泥岩,厚度超过100 m;707 m处灰色硅化泥岩的有机碳含量为0.2%~0.5%,镜质组反射率为0.69%,已达到成熟阶段,其下伏灰黑色硅质泥岩有机碳含量及成熟度应更高。因此,研究区石炭系广泛发育厚度较大的烃源岩且具有生烃条件。

研究区排66井石炭系炭质泥岩的色谱质谱分析结果显示(图3),其C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>和C<sub>29</sub>甾烷呈反“L”型分布,C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub>值小于1,C<sub>27</sub>/C<sub>28</sub>值大于1,表明其石炭系烃

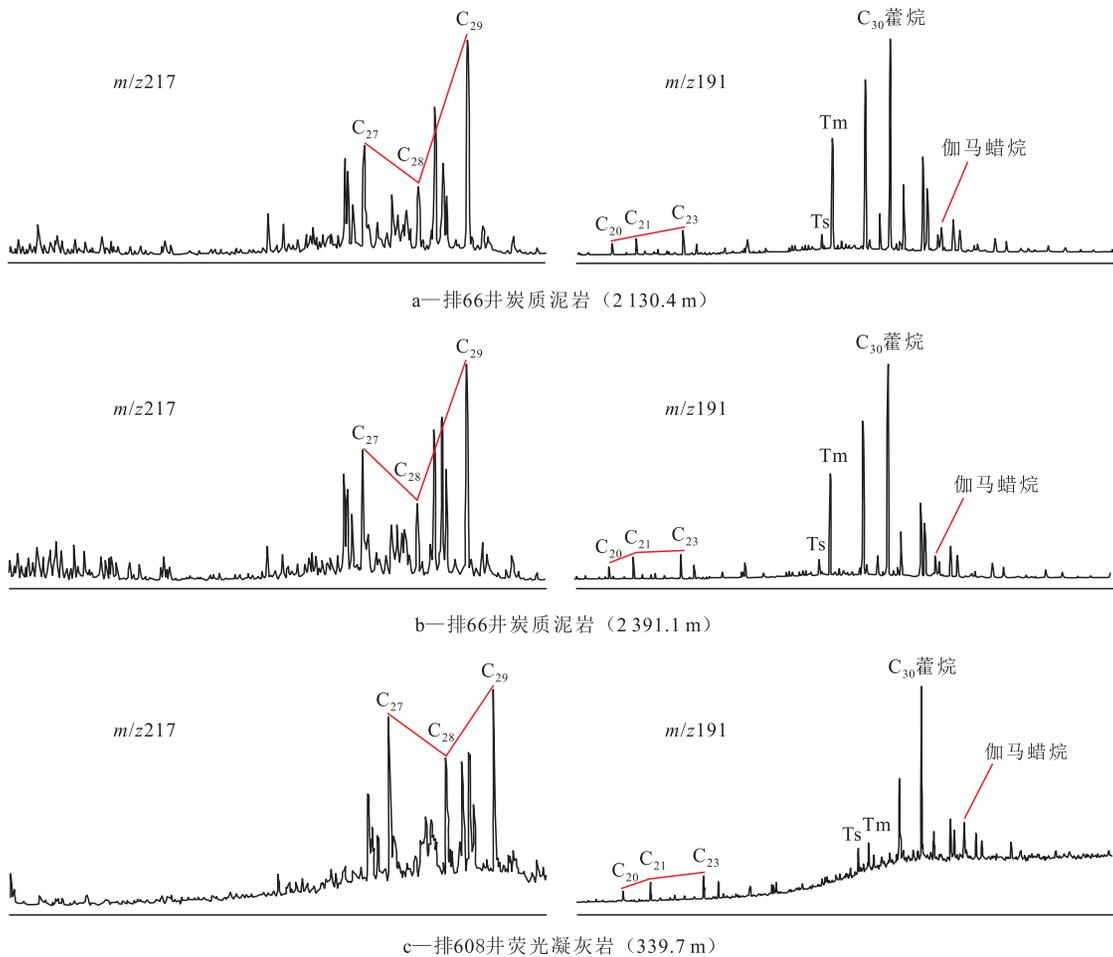


图3 车排子地区石炭系炭质泥岩生物标志化合物特征

Fig.3 Characteristics of biomarkers of the Carboniferous carbonaceous mudstone in Chepaizi area

源岩存在藻类及微生物的贡献。排608井石炭系原油中C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>和C<sub>29</sub>甾烷呈反“L”型分布;C<sub>20</sub>、C<sub>21</sub>和C<sub>23</sub>三环萜烷呈上升型;伽马蜡烷含量中等,这些都与排66井石炭系泥岩的生物标志化合物特征相似(图3)。因此,车排子地区石炭系火成岩油藏存在石炭

系自身烃源岩的贡献。

### 3 油气成藏条件

车排子地区自海西期形成以来长期继承性隆

起,是油气的有利运移指向区;昌吉凹陷和四棵树凹陷的二叠系、侏罗系烃源岩生成的油气可以向车排子凸起运移<sup>[11]</sup>。研究区石炭系上覆侏罗系区域性块状砂岩,是油气自凹陷运移至车排子凸起的重要通道,油气还可以通过断层和裂缝运移至石炭系火成岩裂缝—孔隙型储层中聚集成藏。由于车排子地区石炭系烃源岩本身具有生烃条件,因此可形成“自生自储”型油气藏。

车排子地区石炭系火成岩储层物性条件较差,但局部仍富集大量油气,主要发育断块油藏和岩性—构造油藏。研究区石炭系发育的断层均为压扭背景下形成的走滑断层,断层控制油气成藏且断距大、活动时间长;断层内部热液活跃,形成白云石、方解石及泥岩充填,对油气具有较好的封堵作用<sup>[12]</sup>。北西向和北东向断层相互切割形成多个断块圈闭,可形成断块油气藏。纵向上多种火成岩相互叠置,平面上具有明显的分带特征,反映研究区发生多期次火山喷发活动,火山沉积相中泥岩封堵爆发相、溢流相火山岩储层可以形成岩性—构造圈闭,有利于形成岩性—构造油气藏。

研究区火成岩储层的含油气性主要与裂缝的发育程度成正相关。岩心分析结果表明,平面上石炭系火成岩储层距离主断裂越近,其裂缝越发育,且开启缝占裂缝总数的70%;纵向上,裂缝在距离石炭系顶面30~200 m较发育。裂缝发育的裂缝—孔隙型储层含油气性较好,荧光薄片资料也证实微裂缝发育段含油气性较好。因此,研究区石炭系火成岩储层有利分布区带应依据裂缝有利分布区带来预测。

## 4 勘探关键技术及开发效果

### 4.1 勘探关键技术

车排子地区石炭系火成岩油气勘探的关键是对火成岩储层的预测,而目前对于火成岩储层特别是裂缝性储层类型的展布及其油气富集规律等研究还未形成有效的技术序列。勘探实践发现,研究区排661井火成岩有效储层在地震剖面上表现为斜层状强振幅反射特征,排67井储层不发育区在地震剖面上表现为杂乱的短轴状反射特征;因此,目前针对研究区石炭系火成岩油气勘探主要采用重磁电预测技术和地震预测技术相结合,明确火成岩储层的分布特征。

#### 4.1.1 重磁电预测技术

车排子地区石炭系玄武岩、安山岩、火山角砾

岩、凝灰岩以及碎屑岩(砂岩和泥岩)的磁化率分别为 $4\ 738\times 10^{-5}$ 、 $3\ 301\times 10^{-5}$ 、 $1\ 497\times 10^{-5}$ 、 $104\times 10^{-5}$ 和 $41\times 10^{-5}$ ;因此,磁力异常变化对石炭系各种岩性具有较好地反映,进而可以反映火成岩的平面展布特征<sup>[13]</sup>。通过磁力勘探施工和数据处理,得到车排子地区1:5万的磁力二次导数异常平面图,发现研究区发育东北部排669井区、东部排66—排665井区和南部排702井区共3个磁力异常区。其中,东部排66—排665井区为中—强磁力异常区,玄武岩、安山岩及火山角砾岩较发育,经勘探实践证实该区为石炭系火成岩储层发育区。由于磁力异常是同一区域岩石综合影响的结果,因此应用重磁电预测技术预测有利储层分布仍存在局限。

#### 4.1.2 地震预测技术

通过对地震数据进行小波变换处理,将车排子地区排66井区地震资料的主频由40 Hz提高至50 Hz,以确定研究区石炭系火成岩储层的地震响应特征,提高地震识别精度。研究区发育喷发相(凝灰岩和沉凝灰岩)、溢流相(安山岩和玄武岩)及爆发相(火山角砾岩和角砾凝灰岩)<sup>[14-15]</sup>,其中喷发相具有弱振幅、低频率及中—好连续性的地震反射特征,溢流相具有中—弱振幅、中—高频率及中等连续性的地震反射特征,爆发相具有中—强振幅、中—低频率及差连续性的地震反射特征。此外,岩心观察、地震解释和试采效果表明,研究区发育的断裂破碎带具有较大的开发潜力<sup>[16-18]</sup>,如排66井埋深1 048~1 150 m取心井段见明显破碎现象,地震剖面表现为同相轴扭曲、错断及弱振幅反射特征;其日产油量保持在10 t/d左右,累积产油量为7 806 t。利用小波分频多尺度裂缝检测、叠后大尺度裂缝预测及叠前中小尺度裂缝预测技术,对车排子地区裂缝发育区进行预测(图4),共描述排66井区、排

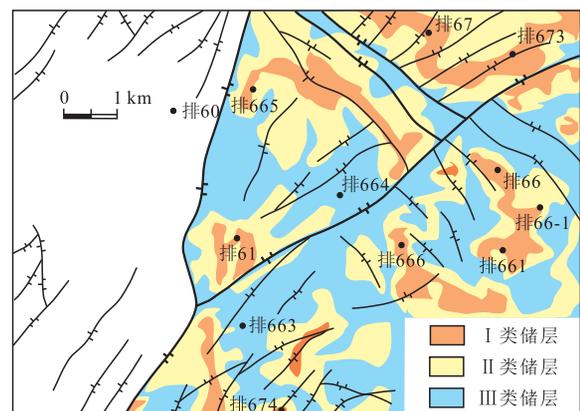


图4 车排子地区石炭系火成岩储层分布预测

Fig.4 The predicted reservoir distribution of Carboniferous igneous in Chepaizi area

662井区和排666井区3个火成岩储层有利发育区,且预测结果与17口井实际钻探结果的符合率为91%。

## 4.2 开发效果

研究区排66等11口井钻遇的石炭系火成岩储层均获得工业油气流,且持续稳定生产(表1)。排

表1 车排子地区石炭系火成岩试采数据

Table1 Trial mining data of the igneous reservoir in Chepaizi area

井号	完钻年份	井段/m	油斑显示		油层中部埋深/m	产油量/(t·d <sup>-1</sup> )	含水率,%	累积产油量/t (截至2014年12月)	50℃脱气原油粘度/(mPa·s)
			厚度/m	层数					
排66	2012	962~1 504	14	4	1 173	10	75	7 806	154
排661	2012	1 060~1 250	3	2	1 122	1.4	35	1 319	145
排66-1	2013	1 033~1 268	26	7	1 235	1.3	68	23	
排663	2013	928~1 031	4.8	2	980	9	32	2 367	1 182
排666	2013	922~1 030	27.6	14	1 092	4.5	36	2 976	174
排668	2013	953.15~1 070.65			1 012	0.7	96	557	

663井钻遇石炭系火成岩115 m,见油斑显示井段长4.8 m,产油量为9 t/d,累积产油量为2 367 t。排666井和排681井火山角砾岩经水力喷砂压裂后也获得工业油气流<sup>[19]</sup>,目前正进行径向钻孔可行性论证<sup>[20]</sup>。借鉴大庆油区徐深气田火山岩储层水平井钻探经验<sup>[21]</sup>,部署排664侧井,完钻井深为1 528 m,水平位移为486 m,荧光显示井段长183 m,50℃脱气原油粘度为7 988 mPa·s,蒸汽吞吐后产油量为7 t/d。根据钻探经验已在研究区又部署5口水平井。

## 5 结论

车排子地区自海西期形成以来长期继承性隆起,是油气的有利运移指向区。昌吉凹陷和四棵树凹陷的油气通过断层和裂缝运移至石炭系火成岩裂缝—孔隙型储层中聚集成藏。车排子地区石炭系烃源岩本身具有生烃条件,可以形成自生自储型油气藏,主要发育断块油藏和岩性—构造油藏。其石炭系火成岩储层的含油气性主要与裂缝发育程度成正相关,平面上石炭系火成岩储层距离主断层越近裂缝越发育,纵向上裂缝在距离石炭系顶面30~200 m较发育,爆发相和溢流相火成岩分布区是研究区油气富集高产的主要区域。火成岩有利发育区预测应重点依据裂缝有利发育区。综合勘探实践成果,利用重磁电预测技术和地震预测技术,识别并预测研究区石炭系火成岩、断裂破碎带及裂缝发育区,已成功钻探32口井,其中11口井获得工业油气流;排664侧钻水平井钻探成功后,又部署5口水平井。

### 参考文献:

[1] 何登发,陈新发,况军,等.准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特

征及勘探前景[J].石油学报,2010,31(1):1-11.

He Dengfa, Chen Xinfa, Kuang Jun, et al.Characteristics and exploration potential of Carboniferous hydrocarbon plays in Junggar Basin[J].Acta Petrolei Sinica, 2010,31(1):1-11.

[2] 董臣强,尚新民,刘立平.地震资料的保真性分析与检验[J].石油物探,2013,52(3):253-258.

Dong Chenqiang, Shang Xinmin, Liu Liping.Seismic data processing fidelity analysis and verification [J].Geophysical Prospecting for Petroleum, 2013,52(3):253-258.

[3] 万丛礼,金强,李钜源,等.裂谷盆地岩浆活动控制油气概论[J].油气地质与采收率,2014,21(5):1-5.

Wan Congli, Jin Qiang, Li Juyuan, et al.Outline on magmatic activities controlling oil-gas theory in rift basins[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014,21(5):1-5.

[4] 侯连华,邹才能,刘磊,等.新疆北部石炭系火山岩风化壳油气地质条件[J].石油学报,2012,33(4):533-540.

Hou Lianhua, Zou Caineng, Liu Lei, et al.Geologic essential elements for hydrocarbon accumulation within Carboniferous volcanic weathered crusts in northern Xinjiang, China[J].Acta Petrolei Sinica, 2012,33(4):533-540.

[5] 李江海,王洪浩,李维波,等.显生宙全球古板块再造及构造演化[J].石油学报,2014,35(2):207-218.

Li Jianghai, Wang Honghao, Li Weibo, et al.Discussion on global tectonics evolution from plate reconstruction in Phanerozoic [J].Acta Petrolei Sinica, 2014,35(2):207-218.

[6] 王书荣,宋到福,何登发.三塘湖盆地火山灰对沉积有机质的富集效应及凝灰质烃源岩发育模式[J].石油学报,2013,34(6):1 077-1 087.

Wang Shurong, Song Daofu, He Dengfa.The enrichment effect of organic materials by volcanic ash in sediments of the Santanghu Basin and the evolutionary pattern of tuffaceous source rocks [J].Acta Petrolei Sinica, 2013,34(6):1 077-1 087.

[7] 颜世翠.准噶尔盆地东北缘石炭纪古盐度与古环境[J].油气地质与采收率,2013,20(5):60-63.

Yan Shicui.Paleo-salinity and paleo-environmental analysis of Carboniferous in northeast Junggar basin [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013,20(5):60-63.

[8] 国建英,李志明.准噶尔盆地石炭系烃源岩特征及气源分析

- [J].石油实验地质,2009,31(3):275-281.
- Guo Jianying, Li Zhiming. Study of gas source and characteristics of Carboniferous hydrocarbon source rock in the Junggar Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(3): 275-281.
- [9] 李政, 张林晔, 沈忠民, 等. 准噶尔盆地车排子凸起轻质油母源及充注方向[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 419-423.
- Li Zheng, Zhang Linye, Shen Zhongmin, et al. Source and migrating direction of light oil in Chepaizi Uplift, Junggar Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 419-423.
- [10] 赵磊, 孙楠, 季建清, 等. 新疆西准噶尔地区晚古生代残余洋盆生烃潜力[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(6): 35-37, 41.
- Zhao Lei, Sun Qiang, Ji Jianqing, et al. Hydrocarbon-generating potentials analysis on late Paleozoic residual ocean basin in West Junggar [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(6): 35-37, 41.
- [11] 刘传虎. 准噶尔盆地隐蔽油气藏类型及有利勘探区带[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 25-32.
- Liu Chuanhu. Subtle reservoir type and favorable exploration belts in Junggar Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 25-32.
- [12] 张波, 吴智平, 刘华. 火成岩在阳信洼陷油气成藏中的地质意义[J]. 特种油气藏, 2014, 21(4): 80-84.
- Zhang Bo, Wu Zhiping, Liu Hua. Geological significance of igneous rock to oil/gas reservoir-forming in Yangxin Sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(4): 80-84.
- [13] 王伟锋, 高斌, 卫平生, 等. 火山岩油气藏地球物理预测技术及准噶尔勘探实例[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2012, 36(6): 33-39.
- Wang Weifeng, Gao Bin, Wei Pingsheng, et al. Geophysical prediction technologies for volcanic reservoirs and exploration case in Junggar Basin [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2012, 36(6): 33-39.
- [14] 郝爱华, 刘珏瑜, 熊益学, 等. 火山熔岩储层次生孔隙类型的岩相学研究——以克拉美丽气田石炭系滴西17井区为例[J]. 特种油气藏, 2012, 19(5): 26-29.
- Xi Aihua, Liu Jiayu, Xiong Yixue, et al. Petrography study on the secondary pore types of volcanic lava reservoirs—a case study from Carboniferous well block Dixi17 of Kelameili gasfield [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(5): 26-29.
- [15] 胡振华. 辽河拗陷东部凹陷沙三段火成岩成因及储集特征[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 46-49.
- Hu Zhenhua. Genetic analysis and reservoir characteristics of Sha3 igneous in eastern sag of Liaohe depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 46-49.
- [16] 刘爱永, 李令喜, 杨国臣, 等. 查干凹陷苏红图组火山岩储层及其油气成藏特征[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 54-57.
- Liu Aiyong, Li Lingxi, Yang Guochen, et al. Study of volcano rock reservoir and oil and gas accumulation characteristics of Suhongtu member in Chagan depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 54-57.
- [17] 周动力, 汪勇, 张秀波. 火成岩有利储层与油气成藏分析[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(5): 6-10.
- Zhou Dongli, Wang Yong, Zhang Xiubo. Analysis on favorable reservoir and accumulation model of igneous reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(5): 6-10.
- [18] 葛岩, 刘成林, 谢英刚, 等. 柴达木盆地石炭系油气勘探前景[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(2): 57-61.
- Ge Yan, Liu Chenglin, Xie Yinggang, et al. Exploration prospect of Carboniferous oil and gas exploration in Qaidam basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 57-61.
- [19] 田守贻, 李根生, 黄中伟, 等. 水力喷射压裂机理与技术研究进展[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(1): 58-62.
- Tian Shouceng, Li Gensheng, Huang Zhongwei, et al. Research on hydraulic fracturing mechanisms and technologies [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(1): 58-62.
- [20] 崔传智, 王秀坤, 杨勇, 等. 低渗透油藏高含水期层间径向钻井油藏工程优化研究[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(5): 61-64.
- Cui Chuanzhi, Wang Xiukun, Yang Yong, et al. Optimization of radial drilling branch number and length in low permeability reservoirs during high water cut period [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 61-64.
- [21] 于士泉, 李伟, 钟琳, 等. 徐深气田火山岩气藏水平井开发优化设计技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2013, 32(1): 71-75.
- Yu Shiquan, Li Wei, Zhong Lin, et al. Optimized design technique for the horizontal well development in Xushen volcanic gas reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2013, 32(1): 71-75.

编辑 邹澍滢