

二连盆地赛汉塔拉凹陷

白垩系火山岩储集层特征及分布预测

李浩^{1,2,3}, 高先志³, 杨德相⁴, 朱超⁵, 韦庆亮², 张丽⁴

(1. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092; 2. 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126; 3. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 4. 中国石油华北油田勘探开发研究院, 河北 任丘 062552; 5. 中国石油杭州地质研究院, 杭州 310023)

摘要: 利用岩心、薄片等多种分析手段, 从火山岩岩性、岩相、孔隙类型、储集层非均质性等方面研究二连盆地赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩储集层特征, 分析火山岩储集空间类型、储集层物性等特征。通过建立地质—地震对应关系, 运用频属性反演及地震属性分析法对研究区有利储集层分布进行预测。研究表明赛汉塔拉凹陷火山岩主要发育于下白垩统阿尔善组三段, 火山岩岩性主要为安山岩, 储集空间为气孔、杏仁体内孔、溶蚀孔、收缩缝和构造缝等, 孔缝组合类型有孔隙型、裂缝—孔隙型、孔洞—裂缝型和裂缝型; 岩相主要发育喷溢相, 爆发相和喷发沉积相分布较局限, 喷溢相上部亚相储集层物性和含油性最好; 有利储集层紧邻扎布断裂分布, 纵向上分布在下白垩统阿尔善组三段上部, 其中扎布断裂西段上升盘套 60 井区的阿三段上部层段火山岩储集层相对较好, 勘探潜力大, 火山岩油气成藏属于源外大断层输导成藏模式。

关键词: 火山岩; 火山岩相; 火山岩储集层; 储集层非均质性; 储集层预测; 赛汉塔拉凹陷; 二连盆地

中图分类号: TE122.2⁺22

文献标识码: A

Characteristics and distribution prediction of Cretaceous volcanic reservoirs in Saihantala Sag, Erlian Basin

Li Hao^{1,2,3}, Gao Xianzhi³, Yang Dexiang⁴, Zhu Chao⁵, Wei Qingliang², Zhang Li⁴

(1. School of Ocean & Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China; 3. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China; 5. Hangzhou Geology Research Institute of PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China)

Abstract: With core, thin slice and other analysis methods, this paper analyzed the characteristics of Cretaceous volcanic reservoirs in the Saihantala Sag of the Erlian Basin from lithology, lithofacies, pore type, reservoir heterogeneity, etc. After establishing the relationship between geology and seismic data, this paper predicted some favorable reservoirs of the study region through seismic inversion and seismic attribute analysis methods such as frequency-divided inversion, correlation length analysis and so on. The results showed that volcanic rocks mainly developed in Member 3 of A'ershan Formation of the Lower Cretaceous in the Saihantala Sag, with andesite as the main lithology. Reservoir space types included pores, apricot kernel inner pores, dissolved pores, shrinkage cracks and structural fractures; pore-fissure associations included pore type, fissure-pore type, fissure and vuggy type, fissure type; eruption facies were widely distributed while explosion and volcanic sedimentary facies distributed limitedly; the upper subfacies of eruption facies had excellent reservoir and oil-bearing property; favorable reservoirs distributed along the Zhabu Fault and the upper part of the Member 3 of the A'ershan Formation of the Lower Cretaceous of Sai-60 well block showed great potential; hydrocarbon accumulation model belonged to the model that faults transported hydrocarbon and reservoirs located outside source rocks.

Key words: volcanic rocks; volcanic rock facies; volcanic reservoir; reservoir heterogeneity; reservoir prediction; Saihantala Sag; Erlian Basin

收稿日期: 2013-07-04; 修订日期: 2014-05-15。

作者简介: 李浩(1984—), 男, 博士, 从事石油地质方面的研究工作。E-mail: lh107033@163.com。

基金项目: 中国石油“十一五”基础研究课题“二连盆地新层系、新领域油气地质特征综合研究”(P2010154)资助。

随着国内外火山岩油气藏的陆续发现,火山岩储集层作为一种特殊的油气储集层越来越受重视^[1-8]。1907年墨西哥白垩系一新近系火山岩油气藏的发现,揭开了火山岩油气藏勘探开发的序幕。之后陆续在美国、阿根廷、日本、印度尼西亚、前苏联等100多个国家和地区发现了与火山岩有关的油气藏^[9-10]。自20世纪70年代以来,中国也先后在渤海湾盆地、松辽盆地、二连盆地和准噶尔盆地获得突破,尤其是在松辽盆地和准噶尔盆地,火山岩油气藏已成为其油气勘探的热点^[11-18]。目前全球火山岩油气探明储量仅占油气总探明储量的1%左右,勘探潜力巨大^[19-20]。因此,火山岩油气藏成为油气勘探的重要接替领域。

火山岩油气成藏的核心是储集层问题。火山岩储集层岩性类型多样,储集层非均质性严重,含油性错综复杂,这为火山岩有利储集层分布预测带来很大困难。为此对内蒙古二连盆地腾格尔坳陷赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩储集层开展研究,确定该区火山岩储集层特征和有利储集层的分布,为下一步勘探提供重要依据。

1 地质背景

赛汉塔拉凹陷位于内蒙古二连盆地腾格尔坳陷西部,为一北东走向、典型东断西超的单断箕状凹陷,凹陷东西宽约23 km,南北长约100 km,总面积约2 300 km²(图1),从南向北划分为赛东洼槽带、

中央构造带和北部斜坡带。中生界自下而上发育有侏罗系、下白垩统阿尔善组、腾格尔组和赛汉塔拉组,其中火山岩主要分布于下白垩统阿尔善组三段。平面上,火山岩主要沿扎布断裂带分布;地震预测火山岩埋深在600~2 150 m之间,厚度在30~500 m之间,总体呈南深北浅、西厚东薄的特点。截至2009年,钻遇火山岩的井有40口,其中只有赛25、赛60、赛101、赛古2和赛古3井等5口井见到了油气显示,钻遇火山岩油气显示井均分布在扎布断裂西段的上升盘构造高部位(图1)。

2 储集层岩性及岩相特征

2.1 储集层岩性

赛汉塔拉凹陷白垩系发育的火山岩岩性比较单一,主要为熔岩,其次为火山碎屑岩。熔岩以中性岩类安山岩为主,且多发生一定程度的蚀变;火山碎屑岩主要为火山角砾岩、凝灰岩,见有少量的凝灰质砂岩和凝灰质砾岩。

2.2 储集层岩相

火山岩岩相是指火山作用产物在空间分布的格局、产出方式以及这些产物所呈现的外貌特征。岩相研究对于火山地质、火山活动的方式、火山岩的形成机制以及火山岩储集层研究都有着极为重要的意义^[21]。

2.2.1 火山岩岩相的地震反射特征

(1)爆发相。形成于火山作用的早期,是火山爆发时各种粒级的火山碎屑物质的快速堆积,位于火山口附近。在地震剖面上,反射波组外形呈丘状,内部强振幅、中—高频、断续—杂乱反射结构,在火山口处由于喷发物下陷,常形成反射同向轴下凹(图2a)。

(2)喷溢相。是火山喷(溢)出的熔浆逐渐凝固而成,一般位于火山锥的斜坡带上。地震剖面上,研究区喷溢相顶部强反射,反射波组外形呈水平或楔形,内部中振幅、低频、不连续、平行—亚平行反射结构,瞬时相位靠火山口方向有突变(图2b)。

(3)喷发沉积相。由火山爆发物落在水中,或火山喷发物发生剥蚀、搬运的火山碎屑沉积的产物,多形成于火山岩体远端,在研究区未钻遇。地震剖面上,反射特征为波状或似蚯蚓状,中振幅、中—低频、较连续、亚平行或波状反射结构,延伸远(图2c)。

2.2.2 研究区岩相类型及分布

本区既有熔浆的喷溢,又有各种喷出物的爆发,

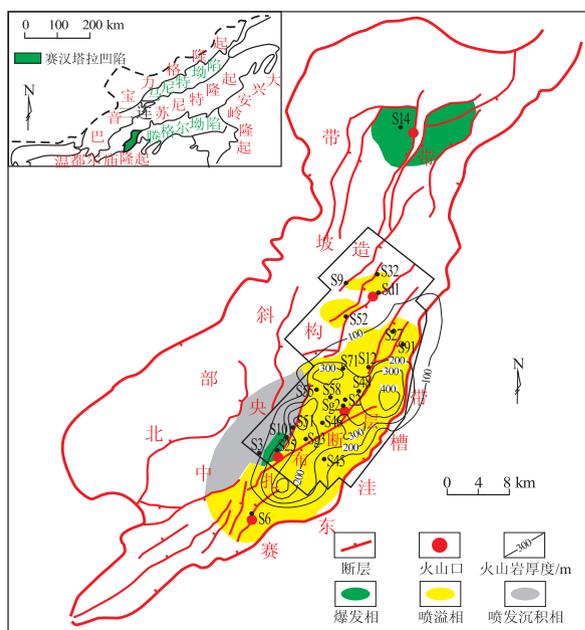


图1 二连盆地赛汉塔拉凹陷下白垩统阿三段火山岩相分布

Fig.1 Volcanic rock lithofacies of K_1ta^3 in Saihantala Sag, Erlian Basin

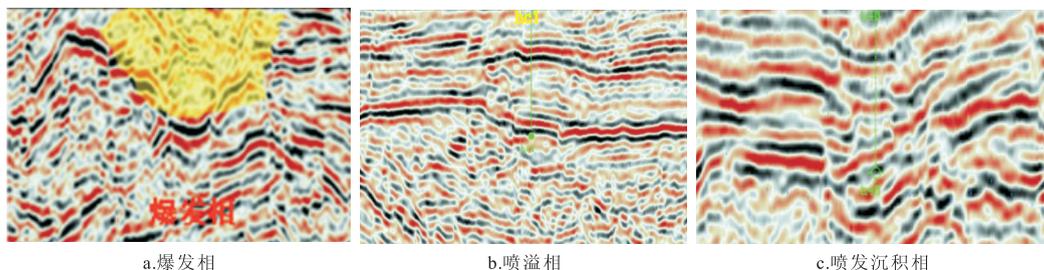


图2 二连盆地赛汉塔拉凹陷下白垩统阿三段火山岩岩相地震特征

Fig.2 Seismic characteristics of volcanic rock lithofacies of K_1ta^3 in Saihantala Sag, Erlian Basin

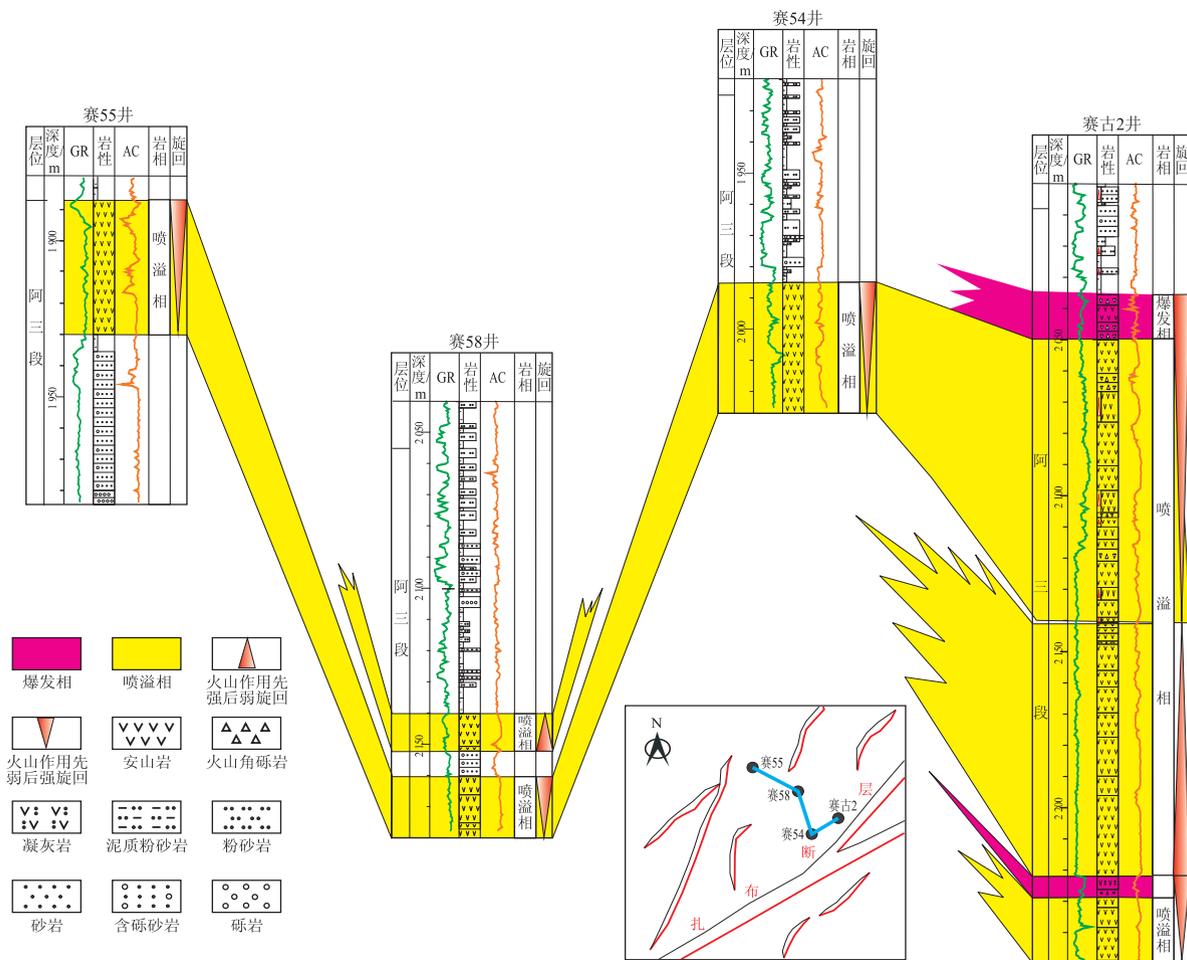


图3 二连盆地赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩连井岩相对比

Fig.3 Correlation of volcanic rock strata of Cretaceous in Saihantala Sag, Erlian Basin

未见有岩浆的浅成侵入。根据赛汉塔拉凹陷火山活动和火山岩分布特点,并综合岩心、测井、地震资料及地质构造,采用“国际地科联火成岩分类学分会”推荐的火山岩岩相分类方案^[22],认为赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩发育喷溢相、爆发相和喷发沉积相。其中喷溢相以安山岩为主,分布较广;爆发相以火山角砾岩、凝灰岩为主,主要分布在火山口附近,整体上分布较分散;喷发沉积相以凝灰质砂岩、凝灰质砾岩为主,仅在凹陷西南斜坡地区发育,分布较局限。总体上,赛汉塔拉凹陷火山岩集中在

下白垩统阿尔善组三段,沿扎布断裂走向分布较厚,以喷溢相为主,而爆发相和喷发沉积相发育程度均较低,分布较局限(图1,3)。

3 储集空间类型

火山岩储集层的储集空间根据其成因可分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝三大类^[23-24]。

3.1 原生孔隙

研究区火山岩原生孔隙主要为原生气孔和杏仁体内残余孔。其中原生气孔是在火山喷发时,喷出地

表的熔浆包裹气体未能及时逸出,待熔浆冷凝成岩后,包裹气体逸出后形成原生气孔。原生气孔形态多样,常呈孤立状,但由于裂缝常切穿气孔,从而使孤立的气孔间相互联通,使之成为有效的孔隙。本区钻遇的火山岩地层中,安山岩和火山角砾岩均有原生气孔发育(图4a,b)。杏仁体内残余孔是矿物未充填气孔遗留下的残余孔,一般形态不规则,多位于杏仁体中部(图4c),与缝、洞相连者含油性较好。

3.2 次生孔隙

研究区火山岩次生孔隙主要为斑晶溶蚀孔和杏仁体溶蚀孔。火山熔浆在冷凝过程中常形成斑状结构,斑晶主要由长石、橄榄石、辉石、黑云母、角闪石等硅酸盐矿物组成,这些斑晶遭受溶蚀或被其它矿物交代,其交代物遭受溶蚀后形成大小不一的斑晶溶蚀孔(图4d);而杏仁体溶蚀孔一般是杏仁体中充填的碳酸盐矿物被溶解形成,形态一般不规则,常发育于杏仁体周缘(图4e),而且常与裂缝连通,使其成为最有利的储集空间(图4f)。

3.3 裂缝

研究区火山岩主要裂缝为冷凝收缩缝和构造

缝。其中冷凝收缩缝是熔浆冷凝、结晶过程中收缩形成的微裂缝,一般呈张开式,面状裂开,少错动(图4g)。构造缝是构造应力作用的产物,在致密的脆性岩层中一般呈平直、高角度的构造缝,而且构造缝附近常形成孔隙,组成裂缝—孔隙型储集空间(图4h)。此外,裂缝常被白云石、蛋白石和硅质等矿物充填,未被充填的裂缝与杏仁体溶蚀孔或气孔一起构成研究区火山岩储集层最有利的储集空间类型——孔洞—裂缝型(图4f,i)。

4 储集层非均质性分析

火山岩储集层具较强的非均质性,主要表现在含油性和物性方面。即使是同一岩相不同亚相间其含油性和物性差异均较大。由于研究区主要发育喷溢相,喷溢相又分为上部亚相、中部亚相和下部亚相,因此对喷溢相的含油性和物性的非均质性特征进行重点分析。

喷溢相主要发育安山岩,不同的亚相间安山岩储集空间类型不同,其中的上部亚相岩性以气孔安山岩为主,原生气孔最为发育。由于上部亚相与外



图4 二连盆地赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩储集层储集空间特征

Fig.4 Characteristics of accumulation spaces of Cretaceous volcanic reservoirs in Saihantala Sag, Erlian Basin

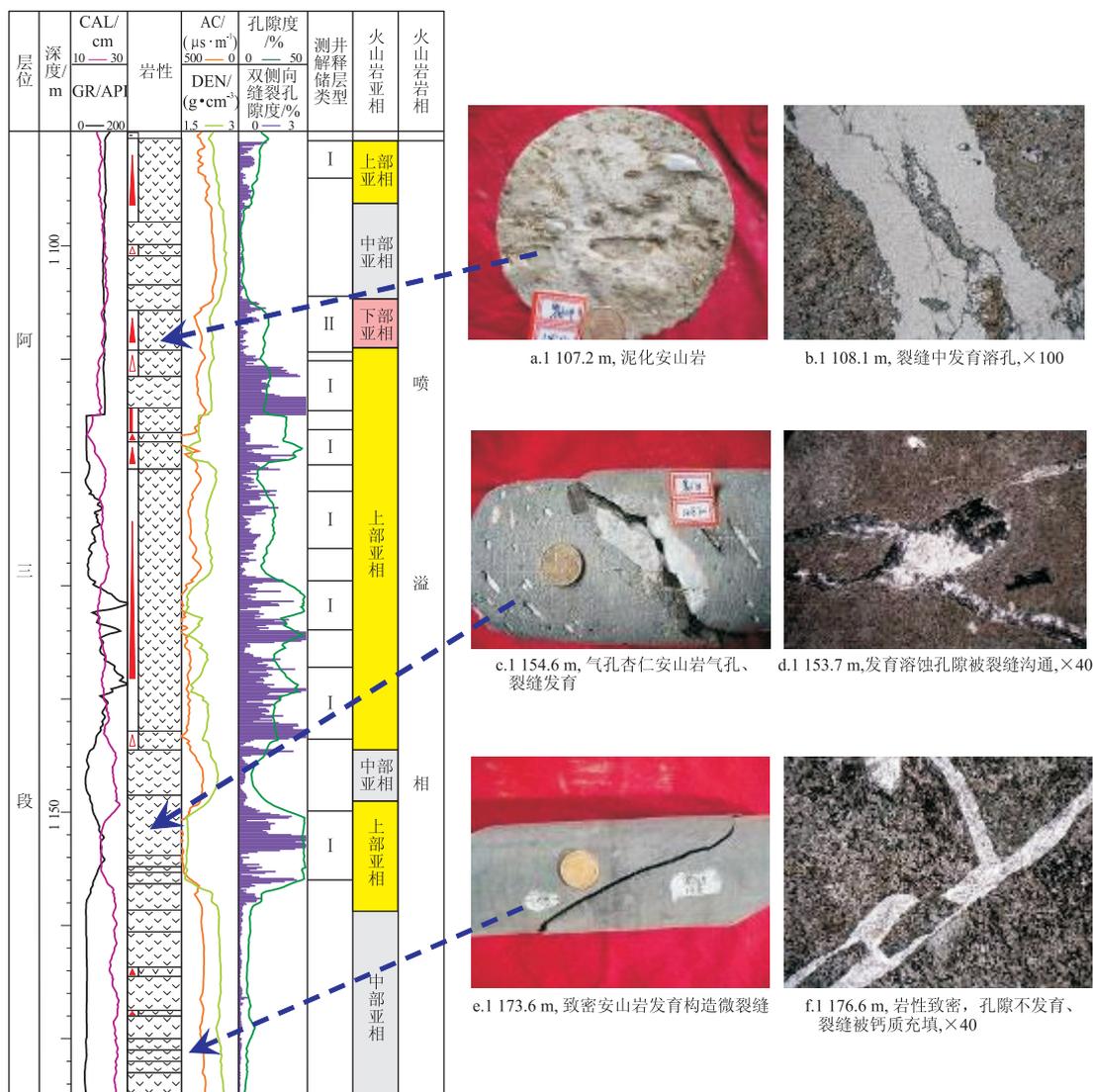


图5 二连盆地赛汉塔拉凹陷赛60井火山岩综合柱状图

Fig.5 Comprehensive column of volcanic rock of well Sai60 in Saihantala Sag, Erlian Basin

表1 二连盆地赛汉塔拉凹陷火山岩喷溢相不同亚相孔隙度统计

Table 1 Statics of porosity of different volcanic rock subfacies in Saihantala Sag, Erlian Basin

相	亚相	深度/m	孔隙度/%			不同孔隙度占比/%		
			最小值	最大值	平均值	5%~10%	10%~15%	>15%
喷溢相	上部亚相	1 332.6~1 402.6	0.7	29.7	16.6	6.8	26.1	60.5
	中部亚相	1 402.6~1 472.0	0.2	23.0	8.2	10.3	28.7	18.4
	下部亚相	1 472.0~1 544.0	2.1	29.8	12.0	41.7	18.9	29.8

界环境接触,冷凝快,易产生冷凝收缩缝。此外,构造缝也较发育,各类型裂缝与溶蚀孔洞共同组成孔洞—裂缝型储集空间(图5c,d)。中部亚相岩性以致密安山岩为主,原生孔隙不发育,性脆,发育高角度构造缝,裂缝多被钙质充填(图5e,f),储集空间类型以裂缝型为主。下部亚相气孔杏仁安山岩较发育,原生孔隙、纹层间裂隙和构造缝都较发育。赛60井1107m钻遇的下部亚相安山岩泥化现象严

重,镜下观察其微裂缝较发育,裂缝间发育有溶孔(图5a,b)。裂缝的存在大大提高了下部亚相的含油性,储集空间类型主要为裂缝—孔隙型和孔隙型。从测井资料求取的火山岩孔隙度平均值可以看出,上部亚相储集物性最好,下部亚相次之,中部亚相最差(表1,图5左)。对钻遇白垩系火山岩层位见油气显示的所有探井进行含油气性统计表明(图6),喷溢相不同亚

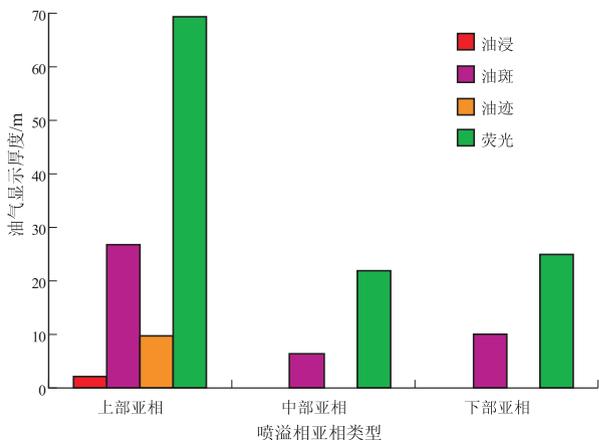


图6 二连盆地赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩喷溢相含油性

Fig.6 Petroliferous properties of Cretaceous volcanic reservoirs in Saihantala Sag, Erlian Basin

相含油性差别较大,其中上部亚相含油性好,油气显示厚度最大,平均含油率(油气显示总厚度占该亚相地层总厚度百分比)为27.4%;下部亚相含油性较好,油气显示总厚度虽然仅为34.9 m,但其平均含油率达到20.8%;中部亚相含油性最差,油气显示厚度最小,平均含油率仅为7.2%。

综上所述,喷溢相上部亚相储集层物性最好,含油性较好,有利储集层最为发育;下部亚相储集层物性和含油性均次之,有利储集层较发育;中部亚相储集层物性和含油性最差,有利储集层一般不发育。

5 有利储集层分布预测

5.1 分频属性反演预测火山岩有利储集层

图7为赛60—赛古2井连井分频属性波阻抗反演剖面,图中红色代表波阻抗高值区,黄色和深绿色代表波阻抗中值区,蓝色和浅绿色代表波阻抗低值区。从图中可见,T11顶(阿三段顶)以下为波

阻抗中—高值的火山岩发育层段,火山岩有利储集层的波阻抗特征表现为高阻抗火山岩背景下的中、低波阻抗值,因此图中T11顶以下的浅绿色部分为火山岩有利储集层发育区。分频属性反演结果表明阿尔善组三段上部层段火山岩储集层物性较好,其下部层段火山岩储集层物性较差。

5.2 地震属性分析方法预测火山岩有利储集层

在综合分析火山岩储集层地质、地震和测井特征的基础上,对研究区火山岩目的层开展细致的地震属性研究,最终优选出了效果较好的弧线长度属性。该属性与地层频率有关,地层频率高,峰谷跳跃多,则弧长值大。在相同地质条件下,裂缝发育的火山岩比致密火山岩对高频部分吸收强,弧线长度较长,依此来预测火山岩储集层的好坏。

图8是沿火山岩顶界(T11顶)提取的弧线长度属性平面图,储集层发育好的区域,频率衰减较强,弧线长度值偏大。图中浅黄色虚线圈定的区域即扎布断裂带赛60井区及其西部邻近地区(如赛58井区),其弧线长度值较高,在9~12之间,反映孔缝在该区域大量发育,为有利储集层发育区。

综上,赛汉塔拉凹陷下白垩统火山岩有利储集层发育区,平面上主要分布在扎布断裂西段上升盘的赛60井区(油气显示井均分布于此区域),纵向上主要分布在下白垩统阿尔善组三段上部。

5.3 火山岩成藏模式

赛汉塔拉凹陷有效烃源岩主要分布在扎布断层下降盘赛东洼槽阿尔善组和腾一段^[25]。扎布断层为长期活动的大断层,在火山岩油气成藏过程中起着极其重要的作用。一方面,它为源外火山岩油气成藏提供了输导油气通道;另一方面,其有利于安山岩储集层构造裂缝的形成,改善了油气储集空

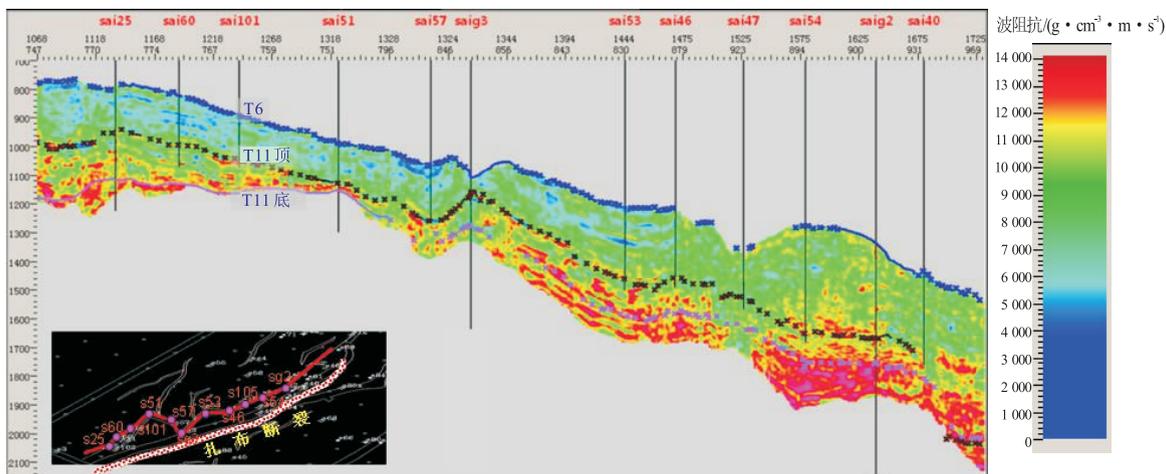


图7 二连盆地赛汉塔拉凹陷白垩系火山岩储集层分频属性反演剖面

Fig.7 Section of frequency-divided inversion of Cretaceous volcanic reservoirs in Saihantala Sag, Erlian Basin

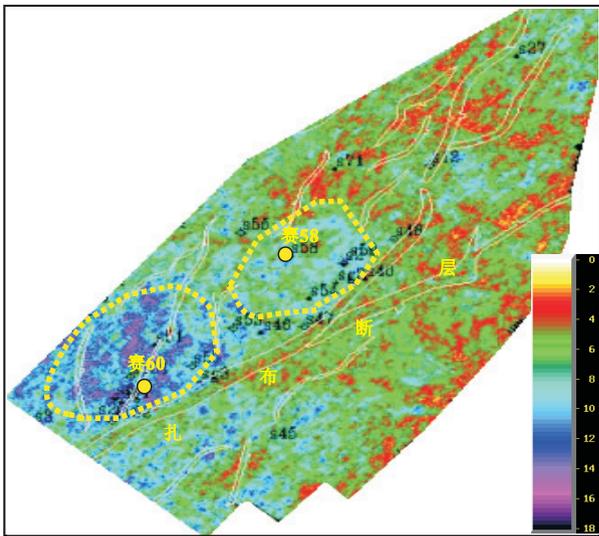


图8 二连盆地赛汉塔拉凹陷
火山岩顶界弧形长度属性分析反演

Fig.8 Section of arc length inversion of Cretaceous volcanic reservoirs in Saihantala Sag, Erlian Basin

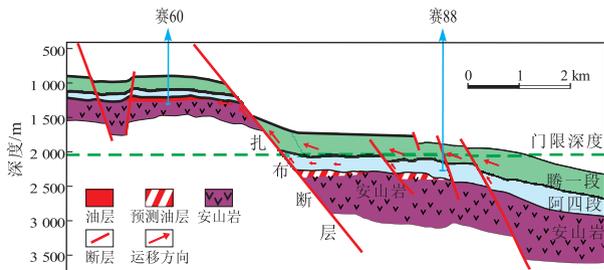


图9 二连盆地赛汉塔拉凹陷
赛60井区白垩系火山岩成藏模式

Fig.9 Oil and gas accumulation models of Cretaceous volcanic rocks in Sai60 area of Saihantala Sag, Erlian Basin

间。油气从烃源岩排出后,沿扎布断层进入赛60井区阿尔善组三段上部层段安山岩储集层,在其孔隙较发育的喷溢相上部亚相高部位聚集成藏。因此,本区火山岩油气成藏属于源外大断层输导成藏模式(图9)。

6 结论

(1)二连盆地赛汉塔拉凹陷火山岩主要发育于下白垩统阿尔善组三段,储集层岩性主要为安山岩,储集空间为气孔、杏仁体内孔、溶蚀孔、收缩缝和构造缝等。

(2)岩相主要发育喷溢相,爆发相和喷发沉积相发育程度均较低,分布较局限。

(3)火山岩储集层非均质性严重,同一岩相不同亚相间含油性和物性均不同。喷溢相上部亚相以气孔安山岩为主,原生孔隙和不规则的构造缝最为发育,储集层物性最好,含油性较好,是有利储集

层最为发育的相带;下部亚相储集层物性和含油性次之;中部亚相以致密安山岩为主,原生孔隙不发育,储集层物性和含油性最差,有利储集层一般不发育。

(4)有利储集层紧邻扎布断裂分布,纵向上分布在白垩系阿尔善组三段上部,其中扎布断裂西段上升盘赛60井区阿三段上部火山岩储集层相对较好,且为上部亚相较发育的层段,勘探潜力大。本区火山岩油气成藏属于源外大断层输导成藏模式。

参考文献:

- [1] Kawamoto T, Sato K. Geological modelling of a heterogeneous volcanic reservoir by the petrological method [R]. SPE 59407, 2000.
- [2] Hawlander H M. Diagenesis and reservoir potential of volcanogenic sandstones; Cretaceous of the Surat Basin, Australia [J]. Sedimentary Geology, 1990, 66(3/4): 181-195.
- [3] 王璞瑛, 吴河勇, 庞颜明, 等. 松辽盆地火山岩相: 相序、相模式与储集层物性的定量关系 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(5): 805-812.
Wang Pujun, Wu Heyong, Pang Yanming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin; sequence, model and the quantitative relationship with porosity and permeability of the volcanic reservoir [J]. Journal of Jilin University; Earth Science Edition, 2006, 36(5): 805-812.
- [4] 高斌, 王伟峰, 卫平生, 等. 三种典型火山岩储层的特征和综合预测研究 [J]. 石油实验地质, 2013, 35(2): 207-212.
Gao Bin, Wang Weifeng, Wei Pingsheng, et al. Features and comprehensive prediction of three typical volcanic rock reservoirs. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 207-212.
- [5] 陈欢庆, 胡永乐, 赵应成, 等. 火山岩储层地质研究进展 [J]. 断块油气田, 2012, 19(1): 75-79.
Chen Huanqing, Hu Yongle, Zhao Yingcheng, et al. Research advances in geology of volcanic reservoir [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(1): 75-79.
- [6] 罗静兰, 邵红梅, 张成立. 火山岩油气藏研究方法 with 勘探技术综述 [J]. 石油学报, 2003, 24(1): 31-38.
Luo Jinglan, Shao Hongmei, Zhang Chengli. Summary of research methods and exploration technologies for volcanic reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(1): 31-38.
- [7] 陈昭年, 陈晓巍, 王明艳, 等. 内蒙古查干凹陷火山岩油藏成藏模式 [J]. 现代地质, 2008, 22(4): 628-632.
Chen Zhaonian, Chen Xiaowei, Wang Mingyan, et al. Volcanic reservoir; forming patterns of the Chagan sag in Inner Mongolia [J]. Geoscience, 2008, 22(4): 628-632.
- [8] 王盛鹏, 林潼, 孙平, 等. 两种不同沉积环境下火山岩储层成岩作用研究 [J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 145-152.
Wang Shengpeng, Lin Tong, Sun Ping, et al. Influences of diagenetic effects on volcanic rock reservoirs under two different sedimentary environments [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 145-152.
- [9] Schutter S R. Occurrences of hydrocarbons in and around igneous rocks [M] // Petford N, MacCaffrey K J W, eds. Hydrocarbons in

- Crystalline Rocks. London: Geological Society, Special Publications, 2003, 214: 35-68.
- [10] 张子枢, 吴邦辉. 国内外火山岩油气藏研究现状及勘探技术调研[J]. 天然气勘探与开发, 1994, 16(1): 1-26.
Zhang Zishu, Wu Banghui. The present study and explored technique investigate of volcanic rock reservoirs in the world[J]. Natural Gas Exploration and Development, 1994, 16(1): 1-26.
- [11] 王璞珺, 陈树民, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 18-27.
Wang Pujun, Chen Shumin, Liu Wanzhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18-27.
- [12] 吴颜雄, 王璞珺, 边伟华, 等. 松辽盆地深层火山岩储集性能[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 236-247.
Wu Yanxiong, Wang Pujun, Bian Weihua, et al. Poroperm characteristics of deep volcanic reservoirs in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 236-247.
- [13] 路占军, 娜仁, 崔俊峰, 等. 内蒙古二连盆地洪浩尔舒特凹陷白垩系火山岩储集层[J]. 古地理学报, 2011, 13(2): 201-208.
Lu Zhanjun, Na Ren, Cui Junfeng, et al. Volcanic rock reservoir of the Cretaceous in Honghao' Ershute Sag in Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(2): 201-208.
- [14] 朱超, 高先志, 杨德相, 等. 二连盆地白垩系火山岩储层特征及有利储层预测[J]. 特种油气藏, 2013, 20(2): 38-42.
Zhu Chao, Gao Xianzhi, Yang Dexiang, et al. Reservoir characteristics and favorable reservoir prediction for cretaceous volcanic rock in Honghao'ershute Sag of Erlian Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 38-42.
- [15] 梁官忠, 姜振学, 刘忠, 等. 二连盆地阿南低渗透火山碎屑砂岩油藏储层特征及其对开发的影响[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 48-57.
Liang Guanzhong, Jiang Zhenxue, Liu Zhong, et al. Reservoir characteristics of low-permeability pyroclastic sandstones and their influences on petroleum development in A'nan oilfield of Erlian Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 48-57.
- [16] 金春爽, 乔德武, 淡伟宁. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 19-29.
Jin Chunshuang, Qiao Dewu, Dan Weining. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 19-29.
- [17] 杨迪生, 任军民, 陈中红, 等. 新疆北部石炭系火山岩地层油气藏特征及其主控因素[J]. 特种油气藏, 2013, 20(4): 31-35.
Yang Disheng, Ren Junmin, Chen Zhonghong, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors of the Carboniferous volcanics in north Xinjiang[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(4): 31-35.
- [18] 邹才能, 赵文智, 贾承造, 等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 257-271.
Zhou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 36(3): 257-271.
- [19] Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget[M]. 2nd ed. Berlin: Springer Verlag, 1992.
- [20] 刘嘉麒, 孟凡超, 崔岩, 等. 试论火山岩油气藏成藏机理[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 1-13.
Liu Jiaqi, Meng Fanchao, Cui Yan, et al. Discussion on the formation mechanism of volcanic oil and gas reservoirs[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 1-13.
- [21] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 13-51.
Qiu Jiaxiang. Magmatic petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 13-51.
- [22] 邱家骧. 国际地科联火成岩分类学分会推荐的火山岩分类简介[J]. 现代地质, 1991, 5(4): 457-468.
Qiu Jiaxiang. Classification of magmatic rocks by IUGS[J]. Geoscience, 1991, 5(4): 457-468.
- [23] 王允诚. 油气储集层评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 75-82.
Wang Yuncheng. Evaluation of oil and gas reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 75-82.
- [24] 赵澄林. 特殊油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-46.
Zhao Chenglin. Special oil and gas reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-46.
- [25] 陈发亮, 韩福民, 刘光蕊, 等. 赛汉塔拉凹陷中原区块烃源岩资源潜力分析[J]. 中国石油勘探, 2011(2): 12-17, 48.
Chen Faliang, Han Fumin, Liu Guangrui, et al. Potential analysis of hydrocarbon source rocks in Zhongyuan Block, Saihantala Sag[J]. China Petroleum Exploration, 2011(2): 12-17, 48.

(编辑 黄娟)