

文章编号:0253-9985(2011)06-0851-08

塔北地区二叠系火山岩岩性特征及油气勘探前景

李彬¹, 贺凯², 吕海涛³, 高山林², 杨素举³

(1. 中国矿业大学, 北京 10083; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:塔北地区二叠系火山岩分布较广, HT1井火山岩试油结果确认了该地区火山岩的含油性。作者重点论述了塔北地区二叠系火山岩的电性特征和岩性-岩相平面、纵向分布特征与火山岩储集空间类型。研究表明艾丁-托甫台-哈德逊地区主要为巨厚层块状喷溢相的英安岩和玄武岩, 岩性相对单一, 横向稳定。多井分析化验资料表明塔河地区火山岩次生孔隙及裂缝发育, 储集性能较好。岩心测试结果显示了火山岩储层低孔低渗的特性, 储层物性主要取决于裂缝、溶孔和孔隙的配套。结合该地区火山岩油气藏的成藏模式, 认为该地区火山岩中存在背斜、地层等圈闭类型, 三叠系柯吐尔组巨厚层纯泥岩直接覆盖在火山岩之上, 构成良好的储盖组合, 使得该地区火山岩具备有利的成藏条件, 勘探前景广阔。通过老井复查, 提出了两口井的重新测试建议, 希望在塔北地区二叠系火山岩的勘探取得突破。

关键词:岩性; 岩相; 火山岩; 二叠系; 成藏模式; 油气前景; 塔北地区

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Lithologic characteristics and petroleum exploration potential of the Permian volcanic rocks in northern Tarim Basin

Li Bin¹, He Kai², Lü Haitao³, Gao Shanlin² and Yang Suju³

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

3. Exploration and Development Institute, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Permian volcanic rocks are widely distributed in northern part of Tarim Basin, and well test results of the volcanic reservoirs in well HT1 confirm their oil bearing in this area. The author mainly discussed the electrical characteristics of the volcanic rocks, horizontal and vertical distribution of the lithology-facies and pore types of the volcanic rocks. The study showed the thick and massive dacite and basalt of effusive facies were dominated in Aiding-Tuoputai-Hadexun area, which are relatively homogeneous in lithology and stable in lateral distribution. Well data indicate that the Permian volcanic rocks in Tahe oilfield are of well-developed secondary pores and fractures. Core test results show that the volcanic reservoirs have low porosity and low permeability. The reservoir properties mainly depend on the combination of fractures, vugs and pores. Combined with hydrocarbon accumulation model of volcanic reservoirs in this area, it is believed that anticlines and stratigraphic traps exist in the volcanic rocks. The volcanic rocks and directly overlapping thick mudstone of Triassic Ketuer Formation form better reservoir-seal system. The volcanic rocks have favorable conditions for hydrocarbon accumulation and good potential for petroleum exploration. Based on re-evaluation of the drilled wells, the re-testing work of two wells is presented in order to promote exploration development of Permian volcanic rocks in Northern Tarim Basin.

Key words: lithology, facies, volcanic rock, Permian, hydrocarbon accumulation model, exploration potential, northern Tarim Basin

收稿日期: 2011-01-07。

第一作者简介: 李彬(1972—), 男, 博士, 油气田开发。

1 塔北地区火山岩勘探概况

塔北地区油气资源丰富,含油层系包括寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、侏罗系、白垩系、古近系与新近系^[1-6],唯独二叠系火山岩目前未获得油气勘探突破,原因主要有以下几点。

1) 受古沉积环境和后期构造运动的影响,沙雅隆起北部—塔东北大部分地区二叠系削蚀尖灭,现存地层范围较小,勘探领域受到限制(图1)。

2) 塔北区只有塔河地区钻井密度大,井控制程度高,其它地区钻井稀少,火山岩分布规律和油气显示特征不清,制约了火山岩油气勘探^[7-10]。而在塔河地区,虽有50多口井钻揭了火山岩层,但所有这些钻井均是针对主力目的层奥陶系部署的,几乎没有针对火山岩层系有利构造部位和有利储集位置部署的探井。

3) 相对沉积岩而言,火山岩油气藏储集条件的非均质性更强,勘探技术、方法、手段还很不成熟,针对火山油气藏勘探的难度较大^[11-15];

塔河地区 HT1 井(位置见图1)是西北油田分公司专门针对塔河地区二叠系火山岩部署钻探的

一口预探井,该井完钻后对 4 833.37 ~ 4 952.08 m 火山岩进行测试,第一次开井显示井筒内气泡较多,第二次开井显示井筒内气泡开始较多,随后逐渐减少直至消失。用浮筒探液面取得原油样品,随后连续油管边举边下至 2 000 m 气举助排,举出油 0.4 m³。测试地层累计产油 0.64 m³,累计产水 1.98 m³,取样器取得水样 2 350 mL、原油 150 mL,由于地层产液量很小,而且压井液又是油田水,无法判断地层是否产水。但是,该井火山岩产油可以确定。

2 火山岩分布及岩性岩相特征

塔北地区二叠系分上、中、下三个统与四个组,自下而上依次为南闸组(P_1n),库普库兹满组($P_{1-2}kk$),开派兹雷克组(P_2kp)与沙井子组(P_3s)。火山岩主要分布在库普库兹满组上部—开派兹雷克组。

岩心、岩屑观察及测井资料分析表明,塔北地区火山岩段岩性大体可以分为火山熔岩、火山碎屑岩(主要为凝灰岩)和火山碎屑沉积岩。不同地区其火山岩厚度及横向稳定性差异较大。在阿瓦提北—顺托果勒西—沙雅隆起西火山岩不发育,厚

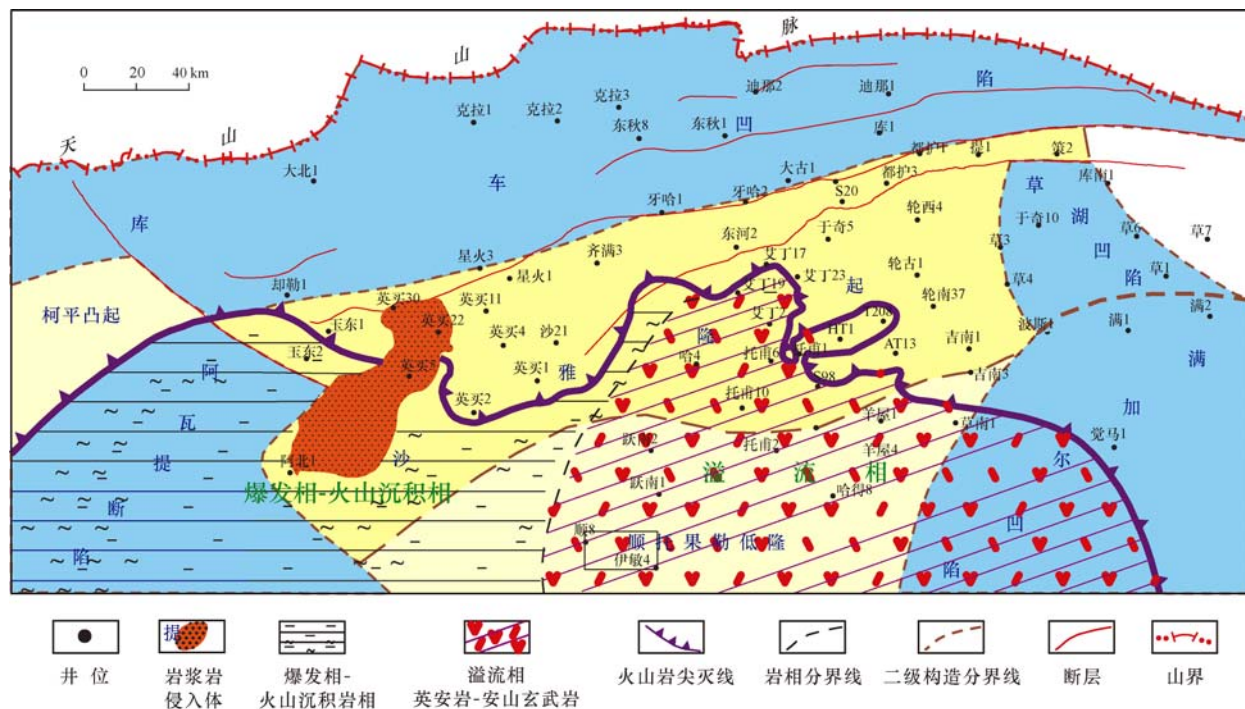


图1 塔北地区二叠系火山岩分布及岩相

Fig.1 Distribution and lithofacies of the Permian volcanic rocks in northern Tarim Basin

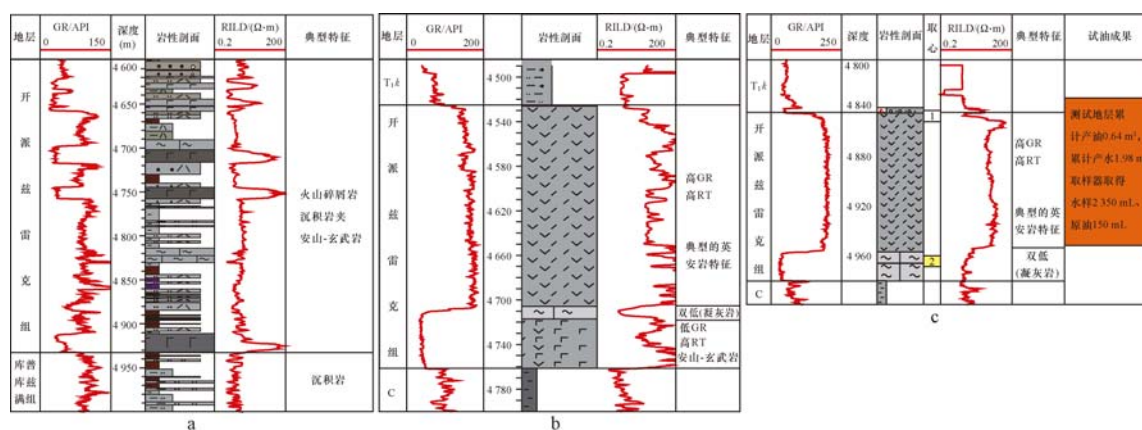


图2 塔北地区二叠系火山岩综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the Permian volcanic rocks in northern Tarim Basin

a. 沙滩隆起西火山岩标准剖面(阿满1井); b. 塔河地区火山岩标准剖面(托甫9X井);

c. 塔河北部地区火山岩标准剖面 (HT1 井) (该井火山岩结构不完整, 缺失底部玄武岩段)

度小,层数少,火山岩夹持于大套的火山碎屑沉积岩或凝灰岩之间(图2a);而在顺托果勒北-沙雅隆起南火山岩厚度巨大,结构相对稳定,中上部为单一的巨厚层的英安岩,英安岩之下为薄层-厚层的凝灰岩或火山碎屑沉积岩,总体厚度较小,下部为巨厚层的玄武岩,但厚度较英安岩要小的多(图2b,c)。在顺托果勒北-沙雅隆起南部主力

火山岩详细特征如下。

2.1 火山熔岩

英安岩主要位于开派兹雷克组中上部,厚度 14 ~ 569 m。平面上主要分布在艾丁—托甫台—哈德逊地区,其电性特征为块状,高 GR,高 RT,高 DEN(图 2b,图 3a)。

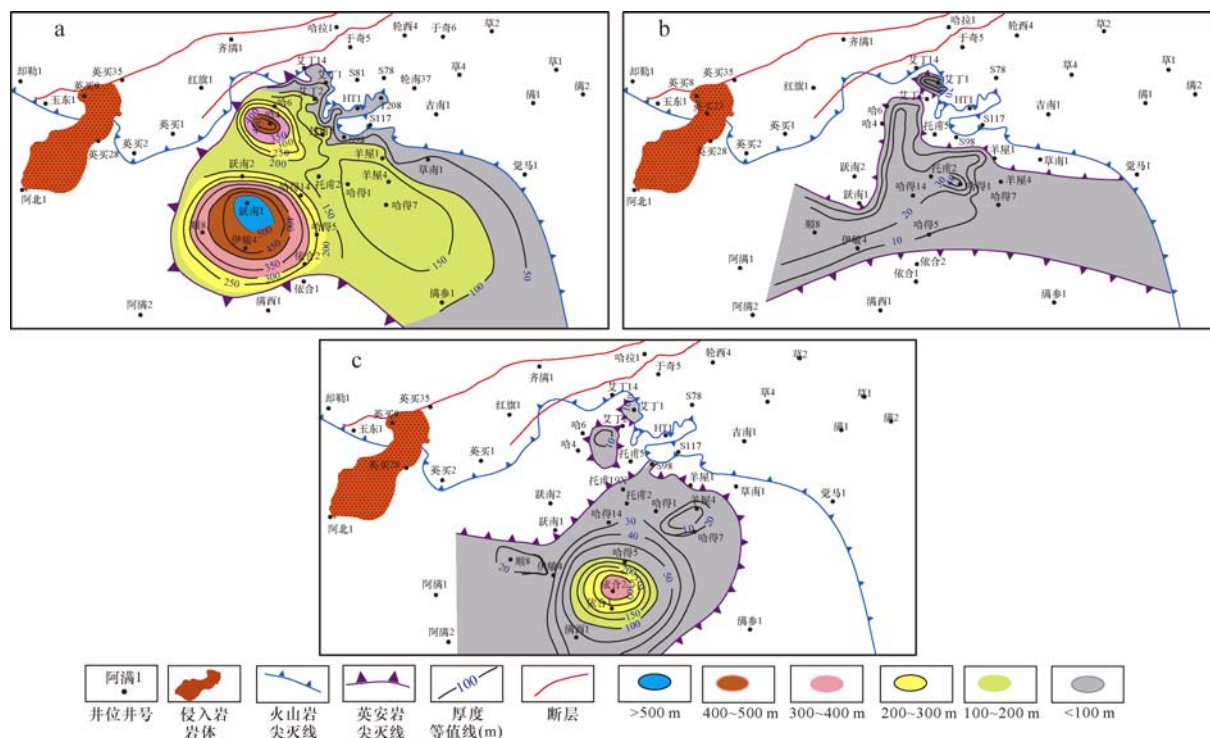


图3 塔北地区主力火山岩段分布及厚度

Fig. 3 Distribution and thickness of the main volcanic rocks in northern Tarim Basin

a. 塔北地区开派雷兹克组中上部英安岩分布及厚度; b. 塔北地区开派雷兹克组下部凝灰岩或沉积岩分布及厚度;

c. 塔北地区开派雷兹克组底部玄武岩分布及厚度

玄武岩分布也比较普遍,主要位于开派兹雷克组底部,厚度 2~39 m,平面上分布在两个区块,即哈德逊(厚度较大),艾丁 24-托甫 18 井区,艾丁 9 井区;沙雅隆起西部大部分地区基本为分散的夹层出现在开派兹雷克组—库普库兹满组之中,厚度较薄,无明显分布规律;在南部顺托果勒区块北部依合 1 和依合 2 井钻遇了厚度分别达 227 m 和 380 m 的安山-玄武岩,与北部塔河地区差异较大。这类岩性其电性特征为低 GR,高 RT,高 DEN(图 2,图 3c)。

2.2 火山碎屑岩及火山碎屑沉积岩

在沙雅隆起西部—阿瓦提凹陷分布较广,厚度大,岩性主要以凝灰岩,凝灰质砂岩为主,与沉积岩不等厚互层(图 2a);在塔河地区厚度较小,主要夹持大套巨厚层英安岩及厚层的安山玄武岩之间,岩性主要为凝灰岩或沉积岩(图 3b)。

通过岩心观察,利用薄片分析鉴定成果刻度

测井曲线,建立塔北地区火山岩岩类识别图版(图 4)。如图所示,英安岩:RT 大于 10 Ω·m,GR 为 95~250 API;安山岩-玄武岩:RT 大于 10 Ω·m,GR 为 20~55 API;火山碎屑岩-沉积岩:RT 小于 10 Ω,GR 为 45~75 API,显示出不同岩石其测井参数差异较大,容易识别。

2.3 火山岩岩相

火山岩岩相是火山岩成因和物性研究的重要内容。决定火山岩岩相的因素有火山作用的方式、喷发类型、岩浆成分、地质构造和古地理环境。

塔北地区二叠系库普库兹满组上部—开派兹雷克组火山岩岩相类型以喷溢相、爆发相及火山沉积相为主(表 1)。不同的地区岩相特征不同,西部为火山碎屑岩和沉积岩组成的爆发相—沉积岩相,东部主要为英安岩和玄武岩组成的喷溢相(图 1)。

表 1 塔北地区火山岩岩相类型
Table 1 Lithofacies types of the volcanic rocks in Northern Tarim Basin

相类型	主要形成机制	岩石类型	分布区域
喷溢相	喷发、溢流作用	英安岩	塔河、哈德逊
		安山岩、玄武岩	塔河、哈德逊、顺北
爆发相	爆发、挥发作用	凝灰岩、沉凝灰岩	沙雅隆起西,塔河西及哈德逊
火山沉积相	沉积作用	沉火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩	顺托果勒北—阿北地区

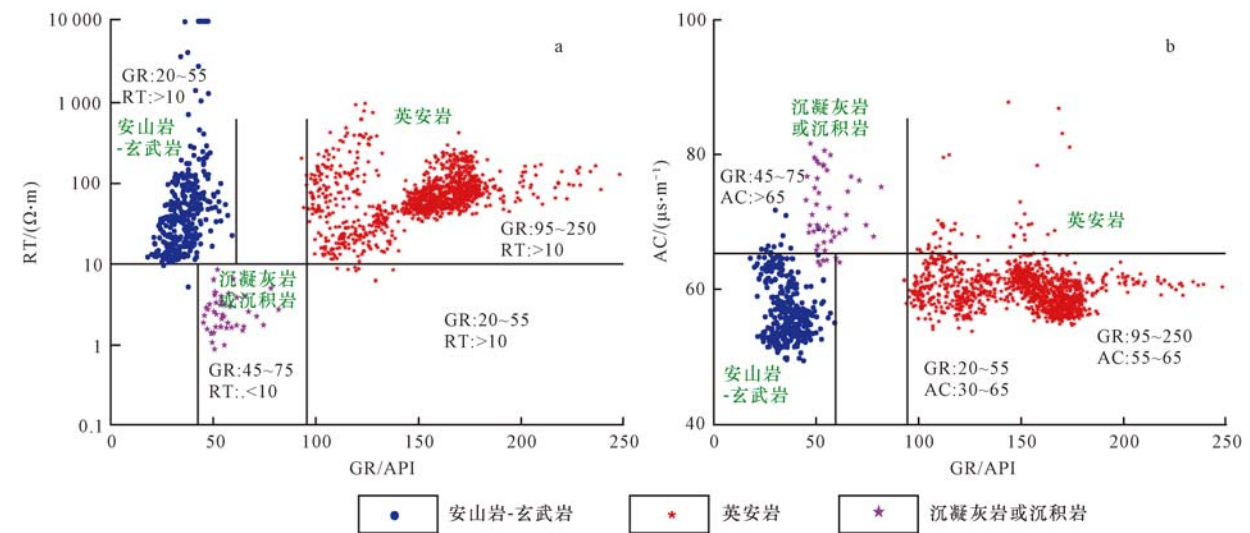


图 4 塔北地区二叠系火山岩识别图版

Fig. 4 Identification chart of the Permian volcanic rocks in northern Tarim Basin

a. 电阻率与自然伽马交汇图;b. 声波时差与自然伽马交汇图

综上所述,塔北二叠系沉积区库普库兹满组上部—开派雷兹克组东、西部火山岩分布、厚度有很大差异:西部的阿瓦提—顺托果勒北—沙雅隆起西部火山岩不发育,横向变化大,对比性差,总体为凝灰岩、沉火山碎屑岩、沉积岩为主,是爆发相与火山沉积相交交互区;塔河—哈德逊—顺北地区则为大套厚层稳定的英安岩、玄武岩,是喷溢相沉积。

3 火山岩储集性能

研究表明无论是爆发相的火山角砾岩还是溢流相的火山熔岩都可以作为储层,主要取决于后期改造程度和裂缝、物性、溶蚀孔等配合程度。而储层含油性的好坏取决于孔隙、裂缝是否配套^[16-17]。

3.1 火山岩储集空间类型

通过对资料较丰富的塔河地区火山岩储集空间进行研究发现,其储层类型可分为原生孔隙和

次生孔隙。

原生孔隙包括原生气孔、晶内缝等(图5a)。据岩心和薄片观察,气孔主要分布于玄武岩中,多呈圆形和椭圆形,孔径多在3~5 mm;绝大部分气孔的呈彼此孤立状,部分气孔被次生矿物石英、方解石、硅质及绿泥石或钙、铁质充填。气孔垂向上分布不均匀,水平方向上分布较均匀,自下而上孔径由小变大、全充填变为半充填、气孔段密集相间(15~50 cm)、杏仁体由泥质至方解石至硅质,而且同一气孔内出现泥质—硅质—方解石依次充填的现象。

次生孔隙是火山岩储层中分布最广和最为重要的一类储集空间,由成岩期和成岩后的溶解作用、风化作用形成。塔河地区主要包括斑晶溶蚀孔隙、基质内溶蚀孔隙等。斑晶溶蚀多见于英安岩中。斑晶溶蚀孔隙类型有长石斑晶溶蚀孔、石英斑晶溶蚀孔、暗色矿物(黑云母—角闪石—辉石)斑晶溶蚀孔(图5b)。

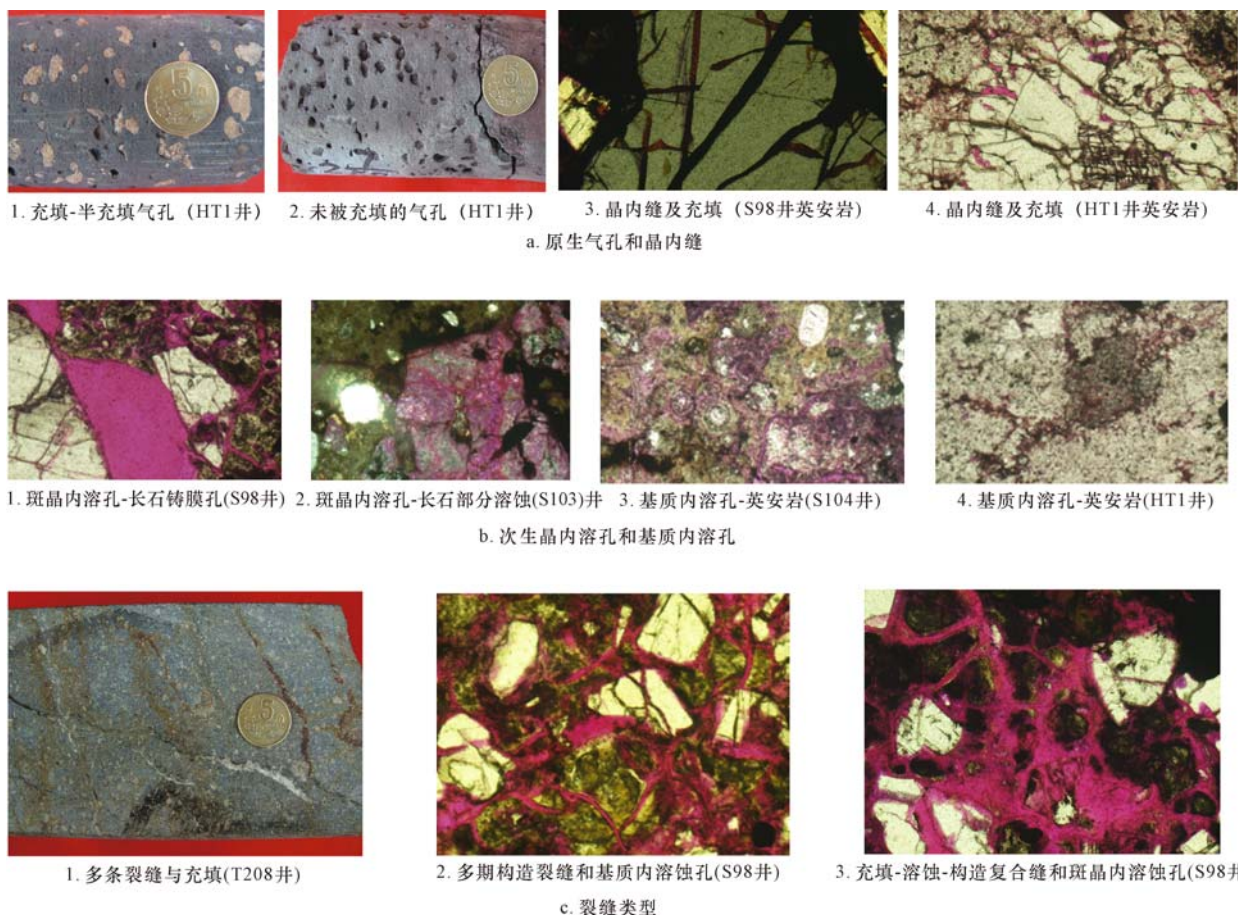


图5 塔河地区二叠系火山岩储集空间类型

Fig. 5 Reservoir space types of the Permian volcanic rocks in Tahe area

喷出岩的基质基本上是由玻璃质与微晶长石与石英构成,玻璃质脱玻化后形成绿泥石及硅质微晶,而微晶长石容易粘土化溶蚀,脱玻化作用使体积缩小,在晶间留有孔隙,形成基质内容蚀孔(图 5b)。此种孔隙一般为细小的筛孔状,且具有一定的相互连通性,可以成为天然气的良好储层。

塔河地区火山岩中裂缝主要为构造裂缝、充填—溶蚀—构造复合缝(图 5c)。据岩心观察,塔河地区构造裂缝较为发育,裂缝大多为充填裂缝,以充填和半充填为主,岩心柱体可见大量断面擦痕。火山岩裂缝主要分为近水平、斜交(裂缝倾角 $60^{\circ}\sim70^{\circ}$)和近垂直三组裂缝,裂缝大都为成岩期形成的充填裂缝。英安岩较玄武岩构造裂缝更为发育。部分构造裂缝被充填后,在后期又被溶蚀,重新开启成为有效的油气运移通道与储集空间(图 5c)。

3.2 火山岩储层物性分析

对塔河地区火山岩储层物性进行统计(表 2),测试岩心基本均为英安岩,岩性之间的差异难以对比。就同类岩性而言,物性差异较大,孔隙度最小 1.9%,最大的可达 22.4%,渗透率总体较小,塔河地区目前取心井当中,HT1 井火山岩分析样品最多,其 9 个样品平均孔隙度 9.1%,表现出低孔、低渗特征。

但是也有个别样品表现出较好的储集性能。

主要缘于以下几方面因素:①火成岩的个别样品发育裂缝,如 S79 井 4 867.14 m 处,火山岩储层中因含裂缝,有效孔隙度为 6.4%,渗透率达 $4.44\times10^{-3}\mu\text{m}^2$;②位于丘状地震相部位的井火山岩物性较高,其构造部位风化淋滤严重,各种成因的孔隙和裂隙发育(如 S98 井)。由此可见,火成岩物性差异与火山岩样品性质特征、构造部位和发育的岩相类型有一定的关系。

4 成藏分析及勘探远景

4.1 储集条件是关键因素

塔河地区烃源灶展布及烃源岩热演化史表明,二叠系火山岩在后期的燕山—喜马拉雅阶段不乏充足的油气供给。塔河地区 S79,T205,T208 井火山岩顶部见到大量油气显示, T_3^0 不整合面和深部断裂(大都断至古生界顶)不仅构成了深部油气向三叠系等上部层位油气运移重要输导通道,同时对火山岩顶部储层改造具有一定的积极作用。盆地构造演化史表明,三叠纪及其后期,盆地构造面貌开始发生转换,满加尔凹陷—塔北隆起—库车坳陷作为盆地一个整体开始逐步转变为北倾构造面貌,特别是在喜马拉雅期这种作用进一步加强。因此,成藏期间南倾 T_7^0 不整合面、北倾的 T_3^0 不整合面和盐边断裂共同构成油气回返运移,

表 2 塔河地区火山岩物性测试数据
Table 2 Physical property testing data of the Permian volcanic rocks in Tahe area

岩性类型	井号	井段/m	孔隙度, %	渗透率/($10^{-3}\mu\text{m}^2$)
			$\left[\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}(\text{样品数})\right]$	$\left[\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}(\text{样品数})\right]$
英安岩	T208	4 825.40 ~ 4 830.75	$\frac{4.4 \sim 18.8}{10.5}(3)$	0.04 ~ 0.4(3)
	T205	4 821.75	5.0	<0.04
	S79	4 861.80	3.3 ~ 6.4(2)	0.04 ~ 4.44(2)
	T443	4 867.60	13.9	2.16
	HT1	4 844.90 ~ 4 968.65	$\frac{2.5 \sim 22.4}{9.1}(9)$	<0.04(9)
	S91	4 885.00	10.9	0.06
	S86	4 814.20	3.4	<0.04
	T740	5 127.00	6.1	<0.04
	S99	5 179.07	8.9	0.04
	S112	4 565.00	5.2	<0.04
	S114-1	4 578.60	1.9	<0.04
	S98	4 615.30	19.8	3.57
玄武岩	S99	5 234.85	6.5	0.17

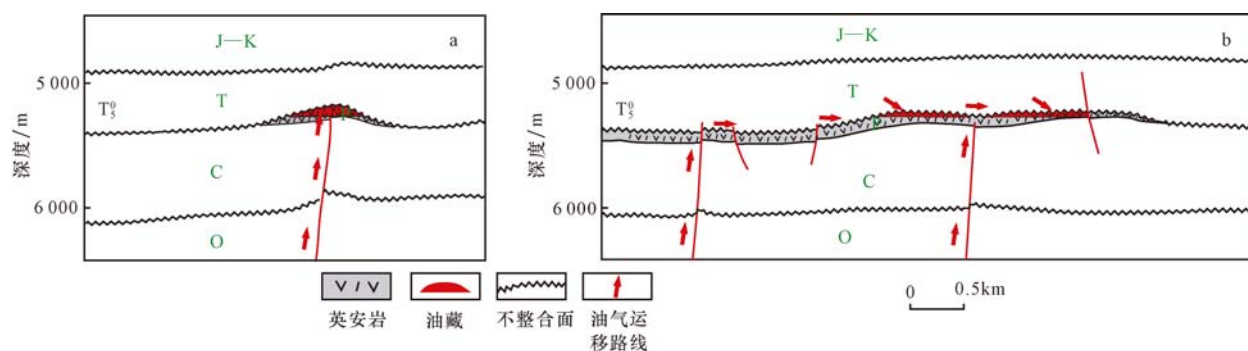


图6 塔河地区二叠系火山岩成藏模式示意图

Fig.6 Sketch map showing hydrocarbon accumulation model of the Permian volcanic rocks in Tahe area

即满加尔凹陷生成的油气沿 T_7^0 沿斜坡带向北运移,然后在盐边断裂带向上运移(沿断裂带上来的油气也有来自下伏奥陶系油藏次生油气),受浮力作用,从断裂运移上来的油气沿 T_5^0 向南部低势区运移。 T_5^0 既作为火山岩顶部界面,同时又作为油气输导体系而首先向火山岩顶部充注油气,此时如果火山岩裂缝、风化壳型储层发育便可成藏,其成藏模式见图6。

4.2 塔河地区是远景区

艾丁—托甫台—哈德逊地区主要为偏酸性的英安岩,虽原生孔隙欠发育,但是岩心观察及储层微观特征都表明该区火山岩发育次生孔隙和裂缝,在火山岩顶部风化壳具备形成物性较好的储层发育带。沙雅隆起中部下三叠统柯吐尔组巨厚层纯泥岩直接覆盖于火山岩之上,该泥岩为横向分布稳定的湖相泥岩,岩性质纯致密。据微孔结构测试,突破压力 13.22 MPa,微孔半径(0.8~3.2 μm)的小孔隙占 53.6%,有较强的封盖性,可形成对下伏火山岩储层区域性封盖,与火山岩形成良好的储盖组合。

笔者对塔河地区火山岩进行测试的全部 4 口井资料进行综合分析,发现除 HT1 井外,测试结果都为干层或水层。这可能与以下几个因素有关:①塔河地区火山岩顶部构造图显示,其构造及构造-地层圈闭较发育,但包括 HT1 井在内的 4 口试油井均不在火山岩圈闭范围内;②试油选层及试油工艺存在缺陷,火山岩的勘探经验表明,射孔井段不宜过大,射孔位置不宜过低,这主要考虑火山岩的裂缝发育,若射孔井段不合理,容易发生水窜,在 4 口石油井当中,3 口井都是大段射孔,1 口

井射孔位置太低;③所有试油井都只是进行了简单的测试,火山岩的真实含油性还有待进一步证实。

5 结论与建议

1) 塔北二叠系东、西部火山岩分布、厚度有很大差异,西部为火山碎屑岩和沉积岩组成的爆发相-沉积岩相,东部主要为英安岩和玄武岩组成的喷溢相。

2) 孔隙类型可分为原生孔隙和次生孔隙,构造裂缝较为发育。

3) 测试岩心为英安岩,表现出低孔、低渗特征。

4) 结合该地区的生烃史和油气运移的研究,认为沙雅隆起中部-顺托果勒低隆北部火山岩性岩成藏条件较优越,疏导体系发育,储盖组合匹配良好,岩性岩相有利,次生孔隙较发育,具有较好的勘探前景。

5) 通过对塔河地区钻遇火山岩的井进行了新一轮复查,并结合构造、储集特征等相关资料,建议对位于圈闭内的 T208 井及 S79 井显示段进行恢复试油,一旦这 2 口井能获得突破,随即可在塔河地区开展大规模的针对火山岩的油气勘探。

参考文献

- [1] 金之钧. 中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二)——以塔里木盆地为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 281-288.
Jin Zhijun. New progresses in research of China's typical super imposed basins and reservoiring of hydrocarbons (Part II): taking Tarim basin as an example[J]. Oil & Gas Geology, 27(3): 281-288.

- [2] 崔海峰,郑多明,滕团余. 塔北隆起哈拉哈塘凹陷石油地质特征与油气勘探方向[J]. 岩性油气藏,2009,6(21):55-57.
Cui Haifeng,Zheng Duoming,Teng Tuanyu. Petroleum geologic characteristics and exploration orientation in Halahatang Depression of Tabei uplift [J]. Lithologic reservoirs, 2009, 6(21):55-57.
- [3] 孙焯,刘守亮. 塔里木盆地北部区域石油地质特征及油气分布[J]. 石油天然气学报,2009,31(5)237-239.
Sunxuan, Liu Shouliang. Petroleum geologic characterization and hydrocarbon distribution[J], Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(5)237-239.
- [4] 李慧莉,邵志兵,何治亮. 塔里木盆地沥青生烃特征与生烃潜力[J]. 石油实验地质,2009,31(4)373-377.
Li Huili, Shao Zhibing, He Zhiliang. Hydrocarbon generation characteristics and potential of bitumen in the Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment. 2009, 31(4)373-377.
- [5] 金晓辉,闫相宾,李铁军,等. 塔里木盆地油气勘探实践与发现规律探讨[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1)45-51.
Jin Xiaohui, Yan Xiangbin, Li Tiejun, et al. A discussion on gas and oil exploration activities and discovery patterns in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1)45-51.
- [6] 武芳芳,朱光有,张水昌,等. 塔里木盆地油气输导体系及对油气成藏的控制作用[J]. 石油学报,2009,30(3).
Wu Fangfang, Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, et al. Types of hydrocarbon migration pathways and its controlling effects on hydrocarbon distribution in Tarim Basin[J]. ACTA PETROLEI SINICA, 2009, 30(3).
- [7] 季宗镇,戴俊生,王军,等. 塔河油田二叠系火山岩储集层裂缝参数模拟[J]. 新疆石油地质,2010,31(2)142-145.
Ji Zongzhen, Dai Junsheng, Wang Jun, et al. Simulation of Fracture Parameters of Permian Volcanic Reservoir in Tahe Oil Field, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(2)142-145.
- [8] 杨金龙,罗静兰,何发歧,等. 塔河地区二叠系火山岩储集层特征[J]. 石油勘探与开发,2004,31(4):44-47.
Yang Jin long, Luo Jinglan, He Faqi, et al. Permian volcanic reservoirs in the Tahe region [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(4):44-47.
- [9] 石松彦. 塔河油田海西晚期火山岩储集层特征及影响因素分析[J]. 录井工程,2006,17(3):69-73.
Shi Songyan. Analysis on the reservoir feature and the influencing factor of Haixi paleozoic volcanic rock in Tahe Oilfield [J]. Mud Logging Engineering, 2006, 17(3):69-73.
- [10] 罗静兰,翟晓先,蒲仁海,等. 塔河油田火山岩的层位归属、火山岩岩石学与岩相学特征[J]. 地质科学,2006,41(3):378-391.
Luo Jinglan, Zhai Xiaoxian, Pu Renhai, et al. Horizon, petrology and lithofacies of the volcanic rocks in the Tahe oilfield, northern Tarim Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(3):378-391.
- [11] 赵澄林,孟卫工,金春爽,等. 辽河盆地火山岩与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1999:37-100.
Zhao Chenglin, Meng Weiding, Jin Chunshuang, et al. Volcanic rock and petroleum in Liaohai Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 37-100.
- [12] 李石,王彤. 火山岩[M]. 1980,北京:地质出版社.
Li Shi, Wang Tong. Volcanic rock [M]. 1980, Beijing: Geology Press.
- [13] 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),1-25.
Zhang Zishu, Wu Banghui. Volcanic reservoir research and exploitation at home and abroad [J]. Natural Gas Exploration & Development, 1994, 16(1), 1-25.
- [14] 杨辉,文百红,张研,等. 准噶尔盆地火山岩油气藏分布规律及区带目标优选[J]. 石油勘探与开发. 2009,36(4)419-427.
Yang Hui, Wen Baihong, Zhang Yan, et al. Distribution of hydrocarbon traps in volcanic rocks and optimization for selecting exploration prospects and targets in Junggar Basin [J]. Petroleum Exploration and Development. 2009, 36(4)419-427.
- [15] 余淳梅,郑建平,唐勇. 准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩储集性能及影响因素[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2004,29(3):303-308.
Yu Chunmei, Zheng Jianping, Tang Yong. Reservoir properties and effect factors on volcanic rocks of basement beneath Wucaiwan Depression, Junggar Basin [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(3):303-308.
- [16] 宋惠珍,贾承造. 裂缝性储集层研究理论与方法——塔里木盆地碳酸盐岩储集层裂缝预测[M]. 北京:石油工业出版社,2001:255-265.
Song Huizhen, Jia Chengzao. Fractured reservoir research theory and methods-Carbonate reservoir fracture prediction of Tarim Basin [M], Beijing Petroleum Industry Press, 2001:255-265.
- [17] 向宝力,王绪龙,赵孟军,等. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系源岩演化及成藏时序[J]. 石油与天然气地质[J]. 2010,31(3),347-351.
Xiang Baoli, Wang Xulong, Zhao Mengjun, et al. Evolution of the Carboniferous source rocks and hydrocarbon accumulation sequence in Ludong-Wucaiwan area, the Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3), 347-351.

(编辑 董立)