

天然气地质学

三塘湖盆地石炭系火山岩储层特征及其影响因素分析

林 潼¹,焦贵浩¹,孙 平¹,王东良¹,梁 浩²,王志勇²
(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院,河北 廊坊 065007;
2. 中国石油吐哈油田研究院,新疆 哈密 839000)

摘要:对三塘湖盆地石炭系火山岩岩石学、储集空间类型及其成岩演化等研究结果表明,火山岩岩石类型主要为火山熔岩,以玄武岩为主。火山岩油藏储集空间以杏仁孔和基质溶孔为主。储层研究表明,岩石组构影响了储层孔隙度发育的潜力,少斑、多玻璃质以及多气孔的火山岩,在后期的改造溶蚀过程中火山岩储集性能的改善较为明显;溢流相顶部的渣状熔岩层在后期的成岩过程中形成的储集空间是主要的油气层;火山岩储层中沸石受风化淋滤以及有机酸溶蚀作用形成的沸石溶蚀孔区带是有利的储层发育区,纵向上沸石和绿泥石呈规律分布。

关键词:三塘湖盆地;火山岩储层;渣状熔岩;沸石;岩石组构

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1926(2009)04-0513-05

1 区域概况

三塘湖盆地位于新疆维吾尔自治区东北部,西临准噶尔盆地,南邻吐哈盆地,东北部与蒙古国接壤,盆地面积为 $2.3\times 10^4\text{ km}^2$ 。盆地早期的勘探主要以二叠系芦草沟组和条湖组为主,1999年在石炭系卡拉岗组火山岩中见到油气显示,从此拉开了石炭系火山岩油气藏勘探的序幕。

目前已在盆地的马朗和条湖凹陷发现了多个油气田,火山岩储层主要以上石炭统顶部的卡拉岗组为主(图1),其下的哈尔加乌组也显示出较好的勘探潜力。

目前国内在多个含油气盆地相继发现了大规模的火山岩油气藏^[1-3]。火山岩油气藏的勘探正如火如荼,火山岩的勘探技术和理论认识也得到了快速的提高。然而研究区火山岩的勘探历程较短,整体还处于勘探的摸索阶段,对火山岩储层的发育特征及其控制因素的认识还不清楚。

本文重点对研究区火山岩储层的特征及其影响

因素进行了详细的研究。

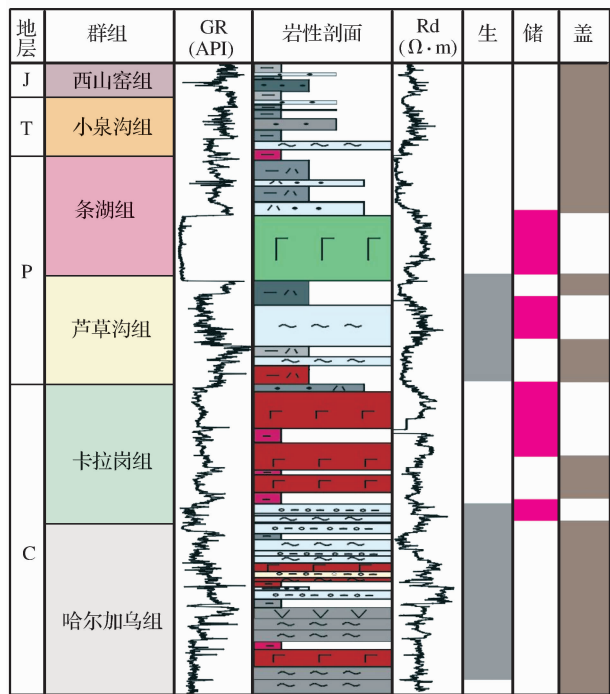


图1 三塘湖盆地地层与油气藏组合示意

2 火山岩储层特征

2.1 火山岩储层岩石学特征

上石炭统卡拉岗组发育大套的溢流相火山岩体,火山喷发间断明显,剖面上表现为火山岩体中凝灰岩和碎屑岩夹层的发育。通过岩石主量元素分析认为卡拉岗组火山岩中基性玄武岩占主要部分(75%以上),其次为安山岩(15%);岩心中发育部分辉绿岩和少量的流纹岩。

据多口井火山岩岩心的观察以及成像测井资料显示,熔岩类是该区火山岩的主要岩石类型,卡拉岗组火山岩储层主要发育在溢流相顶部的渣状熔岩中。盆地石炭纪火山喷发以较为宁静的裂隙式缓慢喷发为主,仅少部分井段可见到火山爆发相的角砾岩和火山集块岩。这种裂隙式的喷发特征决定了该

区火山岩的岩石类型以溢流相的熔岩为主。

2.2 火山岩储层储集空间特征及其演化过程

据岩心观察、铸体薄片鉴定、扫描电镜、成像测井等资料综合分析认为,研究区火山岩储集空间类型可分为原生储集空间和次生储集空间2大类。原生储集空间包含有原生孔隙和原生裂缝,其中原生孔隙包括原生气孔、剩余气孔、晶间孔等,原生裂缝包括冷凝收缩缝、原生角砾间缝(图2a)、收缩节理等。沸石杏仁体内溶蚀孔(图2b、图2c),是研究区主要的次生储集空间,其次是基质溶孔(图2d),铸体薄片中也可见到少量的斑晶溶蚀孔(图2e),但其占总孔隙度的比例很少($<5\%$)。多数的次生裂缝是在原生裂缝的基础上进一步发生溶蚀扩大(图2f)而形成的,孔缝组合是研究区最好的油气储集类型。

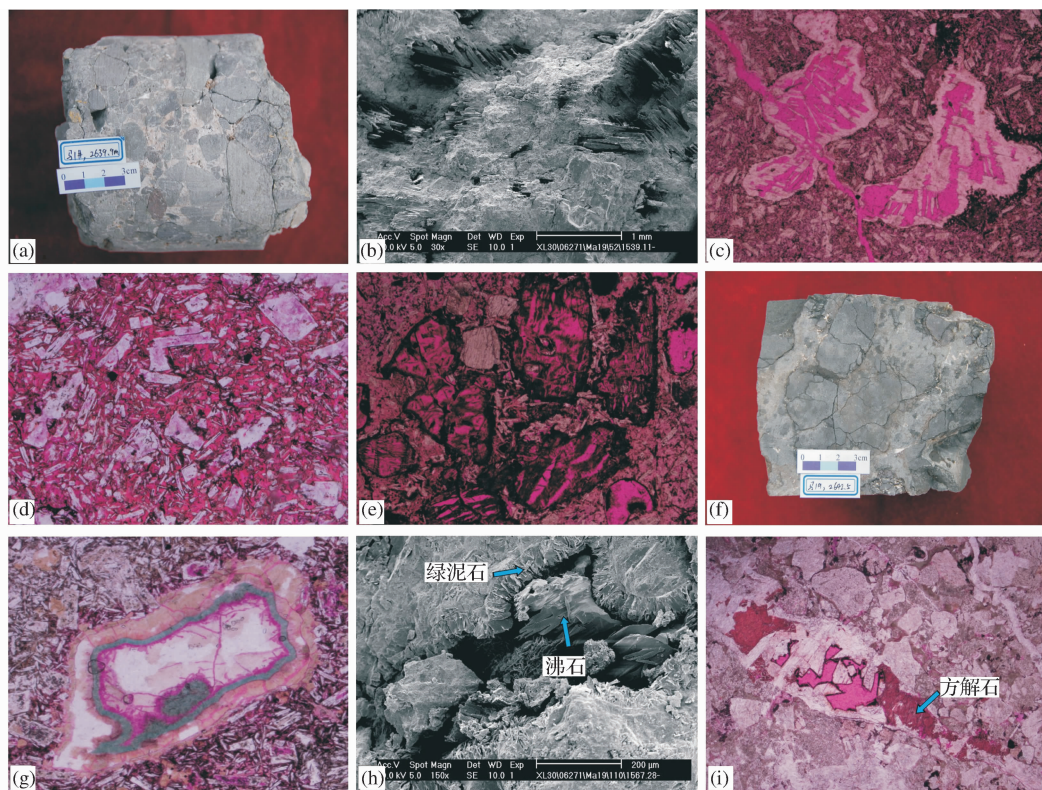


图2 卡拉岗组火山岩储集空间特征

(a) 火山角砾岩,角砾间孔缝发育,马1井(卡拉岗组);(b) 气孔中沸石溶蚀孔,扫描电镜, $\times 30$;(c) 沸石杏仁体内的溶蚀现象,马19井,铸体薄片, $\times 120$;(d) 基质溶蚀孔,马19井,铸体薄片, $\times 80$;(e) 斑晶溶蚀孔,马19井,铸体薄片, $\times 80$;(f) 渣状熔岩,角砾间缝发育,马19井(卡拉岗组);(g) 杏仁体内沸石、绿泥石填充,具两期的沸石填充,发育收缩缝和溶蚀缝,牛东9井(卡拉岗组),铸体薄片, $\times 80$;(h) 沸石、绿泥石填充孔,扫描电镜,马19井, $\times 150$;(i) 沸石溶蚀孔内方解石填充,马704井,铸体薄片, $\times 80$

镜下观察显示多数的原生气孔都发生了后期的绿泥石、沸石以及方解石的充填及其溶蚀现象,从而形成溶蚀的次生孔隙。扫描电镜和铸体薄片下可清晰地观察到原生气孔中次生矿物填充的次序:早期

被绿泥石填充,绿泥石呈里衬形式围绕孔隙周围(图2g、图2h);后期孔隙进一步被沸石填充,而当沸石填充不完全时或沸石在遭受溶蚀后,孔隙又被方解石(图2i)、绿泥石填充。

3 火山岩储层的影响因素

3.1 岩石组构影响了火山岩孔隙发育的潜力

火山岩的结构特征反映了岩浆冷凝成岩时的环境。快速冷凝环境下岩浆结晶程度差,形成了以玻璃质结构或显微晶质结构为主的类型。缓慢冷凝过程中,岩浆充分结晶形成的斑晶较大,含量也较多。统计发现少斑、多玻璃质以及多气孔的火山岩,在后期的改造溶蚀过程中储集性能的改善较为明显(表1)。虽然在镜下可见到斑晶的铸模孔(图2e),但在储集空间中,斑晶的铸模孔只占很少一部分;基质在后期的成岩过程中的脱玻化作用使基质的微孔隙增加,为后期基质的溶蚀提供了条件,形成基质内溶孔,从而使岩石的储集性能得到一定改善^[4];多气孔的火山岩其多孔性为后期的溶蚀提供了空间,在原气孔基础上经溶蚀扩大了储集空间,提高了储集岩的储集性能。快速喷溢且多期叠置的厚层熔岩流,由于内部熔岩的缓慢冷却,晶体较为发育不利于储

层孔隙的形成。通过对连续取心井段岩心的观察,卡拉岗组火山熔岩呈多期喷发、相互叠置的特征,单期熔岩流的厚度较大(5~25 m),从而使得纵向上多套叠置的火山岩体厚度大,造成内部的熔岩流冷却较为缓慢,形成了结晶程度较高且气孔几乎不发育的火山岩体。因此判别和寻找快速冷凝带也是寻找有利火山岩储层发育的另一种思路。

与结构特征密切相关的岩石组分也是影响储层储集空间发育的另一个因素。不同的岩石组分具有不同的抗溶蚀程度^[5-6]。火山岩中不稳定组分如暗色矿物晶体、基质中玻璃质等,为后期次生孔隙的形成奠定了物质基础^[2]。通过对研究区内所选井的岩石组分统计,发现组成火山岩的矿物如橄榄石、长石、辉石等均为不稳定矿物,杏仁充填孔中沸石也是极易溶矿物,这些均为溶蚀作用提供了良好的物质基础。卡拉岗组火山岩储层中沸石的溶蚀是研究区最主要的储集发育空间,因此应加大对该区火山岩中沸石发育带的预测,为寻找潜在的有利储层提供方向。

表 1 三塘湖盆地石炭系火山岩储层物性特征

井号	岩类	深度(m)	个数	基质结构	玻璃质平均含量(%)	平均孔隙度(%)	孔隙类型
马 19	玄武岩	1 521.93~1 529.53	5	拉玄结构	18	6.6	杏仁孔
	玄武岩	1 534.92~1 564.82	3	间隐结构	30	12.9	杏仁孔、基质溶孔
	玄武岩	1 679.09~1 681.71	8	拉玄结构	20	9.2	杏仁孔
	安山岩	2 332.13~2 335.10	12	交织结构	25	5.6	基质溶蚀孔
马 17	玄武岩	1 531.9~1 551.54	10	斑状—间粒结构	50	14.17	杏仁孔、基质溶孔
马 801	玄武岩	2 034.81~2 109.88	9	斑状—填间结构	25	4.6	基质溶孔
马 20	玄武岩	1 882.31~1 884.12	3	斑状—填间结构	18	4.3	基质溶孔

3.2 岩相控制了火山岩储层的分布

火山岩相能够揭示火山岩空间的展布规律和不同岩石类型之间的成因联系^[7-8]。不同的岩相带内其孔隙类型和孔缝组合也不同。因此对岩相的研究和划分是评价和预测火山岩储层的基础。

卡拉岗组火山岩岩相受喷发机制的影响,主要发育溢流相。与其他盆地中所发现的溢流相油气藏储层不同的是,三塘湖卡拉岗组溢流相顶部的渣块熔岩十分发育,是研究区火山岩油气藏的主要储集层段(图3)。在岩心上渣块熔岩表现为熔岩中不规则状的角砾与熔岩熔结,角砾与熔岩的组份相同,角砾的颜色略显暗淡。完整的取心段中可见熔岩流顶部和底部均发育有该类型的渣块熔岩,而中部发育块状的致密熔岩。其形成机理是结壳熔岩在下部流动的熔岩流作用下撕裂形成的不规则状角砾漂在粘稠的熔岩上继续流动而成的。因岩流的上层流动速

度和冷凝速度大于下层,因而岩渣不断在前缘滚落,类似履带运动。随流动距离的增大,温度逐渐降低,流速减慢,最终形成了顶部和底部为渣块熔岩、中部为块状层的溢流相熔岩流。由于渣块熔岩受风化淋滤作用后极易形成松散状,其储集空间十分发育,是油气储存的有利层段。溶蚀过程中角砾与熔岩接触部位最先遭受溶蚀,发育溶蚀缝;而当溶蚀作用较为强烈时整个岩块呈松散状,受后期的成岩作用影响其储集空间被沸石强烈充填,而沸石又极易溶蚀,形成了在渣块熔岩中的沸石填充物内溶蚀孔。

其次,溢流相也控制了原生气孔的发育部位。在渣块熔岩层的下部,发育着气孔带。气孔带在单期熔岩中的发育受熔岩流厚度的控制,单期熔岩流厚度小于3 m的情况下,气孔的分布在纵向上呈分散状;当熔岩流的厚度大于3 m时,气孔的发育呈聚顶发育的模式,大部分气孔发育在顶部,少部分发

育在底部^[9]。

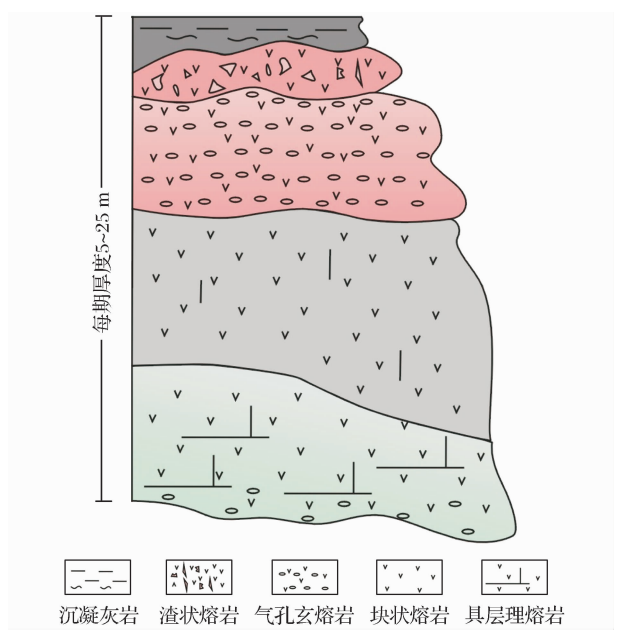


图3 单期熔岩流纵向分布特征

火山岩储层的发育具韵律性。从纵向上连续取心的岩石孔隙度分析图(图4)可以清晰地看出火山岩孔隙度的分布具典型的旋回特征,单期韵律的厚度在5~25 m之间,孔隙度的发育受深度的影响较小。通过对研究区典型火山岩油藏的解剖发现,油藏的发育受火山岩旋回的控制,纵向上发育多套的油层,较高孔隙带与油层主要聚集在火山喷发旋回韵律层的顶部。

3.3 火山岩成岩演化作用对储层的影响

火山岩成岩作用复杂多样,许多学者曾对成岩过程中储集空间的演化以及控制因素进行过详细的分析^[2,7-9]。沸石和绿泥石是孔隙填充的主要物质。沸石的溶蚀层是油气富集层,而绿泥石填充发育层段为致密层。因此成岩演化作用对储层具有双重的影响,开展沸石和绿泥石的形成富集及溶蚀机理的研究是研究区储层成岩演化研究的重点内容之一。

(1)绿泥石发育特征。研究区杏仁孔中绿泥石的产出有2种形式:杏仁孔衬边形式和杏仁体内填充形式。此外多数斑晶均发生了绿泥石化现象。绿泥石一般认为是低温热流体蚀变产物,碱性环境下火山岩中的铁镁矿物如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母(部分Ca²⁺来自中基性斜长石)等蚀变,在流体中富集了Fe²⁺、Ca²⁺、Mg²⁺^[10],为绿泥石的形成提供了物质来源。绿泥石主要存在于研究区的致密玄武岩和气孔(杏仁)玄武岩,在风化玄武岩中含量较低。

(2)沸石发育特征。孔隙中的沸石多数呈放射

状、集束状填充孔隙中央,少部分呈梳状以孔隙衬边的形式出现;裂隙中填充的沸石以梳状居多,也有呈柱状。通过显微镜下观察并结合电子探针分析认为

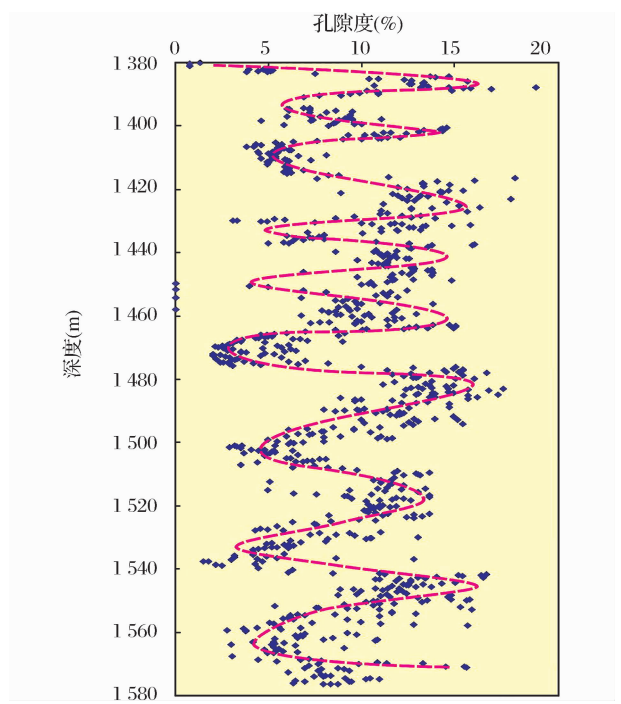


图4 孔隙度纵向上呈旋回分布特征

三塘湖石炭系卡拉岗组火山岩储层中发育的沸石以浊沸石为主,部分为片沸石和少量的丝光沸石、斜发沸石。沸石是研究区玄武岩经后期热液蚀变作用形成的特征矿物之一,主要存在于研究区的致密玄武岩、气孔(杏仁)玄武岩及碎裂玄武岩中,在碎裂玄武岩中的含量较高。研究认为研究区沸石的形成主要是斜长石蚀变形成的。岩心观察玄武岩中沸石的含量明显多于安山岩,这与岩中长石的Ca含量密切相关,在相同的热力学条件下基性斜长石较中性斜长石更容易溶蚀。由于沸石的稳定状态环境为高pH值(9.1~9.9)^[11-12],而有机质在热演化过程中生成大量的有机酸和碳酸,以及流体—岩石相互作用形成的无机酸性流体促使孔隙水和层间水的pH值大幅度下降,从而使这些溶解力很强的酸性水进入储集层中导致在碱性孔隙水中比较稳定的沸石矿物发生溶蚀形成沸石溶蚀孔;地表水在其下渗淋滤过程中带走溶解物质,同时也降低了储层中流体的pH值,加速沸石的溶蚀。因此排烃指向区和风化淋滤斜坡带是沸石溶蚀的最有利区域^[13]。

(3)绿泥石与沸石之间的关系。绿泥石常与沸石伴生,岩心观察发现,绿泥石和沸石的产状和分布大体上一致,但其形成的次序却不同,成岩早期绿泥石的形成早于沸石,成岩后期气孔、孔洞中沉淀结晶

的绿泥石晚于沸石。熔岩正常埋藏演化未发生溶蚀之前,熔岩气孔发育带的上部常发育绿泥石填充,往下逐渐发育沸石与绿泥石的混合过度带,下部多数发育沸石的填充。这种现象的原因目前还不清楚。成岩中受风化、淋滤、溶蚀作用,熔岩中的沸石、绿泥石均遭受不同程度的溶蚀。风化作用强时,填充物完全溶蚀,岩石中未见绿泥石,但仍可见少量二次充填的沸石;风化作用中等或较弱时,岩心中可见未溶蚀或弱溶蚀的绿泥石,以及沸石的溶蚀、半溶蚀孔。

4 结论

(1)石炭系卡拉岗组火山岩储层以裂隙式缓慢喷发的溢流相为主,主要的岩性为玄武岩。

(2)火山岩中的多数气孔都发生了后期的绿泥石、沸石以及方解石的充填。储集空间以沸石溶蚀孔和基质溶孔为主。

(3)岩石组构决定了储层孔隙发育的潜力。少斑、多玻璃质以及多气孔火山岩的后期改造使储集性能明显改善;岩石组分中易溶蚀物质的溶蚀是次生孔隙形成的基础。

(4)岩相控制了火山岩储层的分布。熔岩流顶面的渣快熔岩层和气孔带是储层分布的主要部位。

(5)火山岩成岩演化作用对储层具有双重影响。绿泥石的填充作用阻碍了储层性能的改善,而沸石溶蚀区则是有利的储层发育区域。

参考文献:

- [1] 孙圆辉,沈平平,阮宝涛,等.松辽盆地长岭断陷长深1号气田

火山岩岩性及储渗特征研究[J].天然气地球科学,2008,19(5):630-633.

- [2] 操应长,姜在兴,邱隆伟.山东惠民凹陷商741块火成岩油藏储集空间类型及形成机理探讨[J].岩石学报,1999,15(1):129-136.
- [3] 陆建林,王果寿,蔡进功,等.长岭断陷火山岩气藏勘探潜力[J].天然气工业,2007,27(8):13-15.
- [4] 赵海玲,黄维,王成,等.火山岩中脱玻化孔及其对储层的贡献[J].石油与天然气地质,2009,30(1):47-52.
- [5] 戴亚权,罗静兰,林潼,等.松辽盆地北部生平气田营城组火山岩储层特征与成岩演化[J].中国地质,2007,34(3):528-535.
- [6] 朱华银,胡勇,韩永新,等.大庆深层火山岩储层应力敏感性研究[J].天然气地球科学,2007,18(2):197-199.
- [7] 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.
- [8] 闫林,胡永乐,冉启全,等.松辽盆地徐家围子断陷兴城地区营城组一段火山岩特征及火山喷发模式[J].天然气地球科学,2008,19(6):821-825.
- [9] Sahagian D L, Proussevitch A A. Analysis of Vesicular Basalts and Lava Emplacement Processes for Application as a Paleobarometer/Paleoaltimeter[J]. The Journal of Geology, 2002.
- [10] 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.
- [11] 孙玉善.克拉玛依油区沸石类矿物特征及其与油气的关系[J].岩相古地理,1993,13(2):37-48.
- [12] 陈亦寒,刘大锰,魏喜,等.海外河油田东营组自生沸石的发现成因及其地质意义[J].石油天然气学报,2008,30(4):54-56.
- [13] 刘俊田.三塘湖盆地牛东地区石炭系卡拉岗组火山岩风化壳模式与识别[J].天然气地球科学,2009,20(1):57-62.

Characteristic and Influencing Factors of Carboniferous Volcanic Reservoirs in Santanghu Basin

LIN Tong¹, JIAO Gui-hao¹, SUN Ping¹, WANG Dong-liang¹, LIANG Hao², WANG Zhi-yong²

(1. Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang 065007, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tuha Oilfield, Hami 839000, China)

Abstract: The study of petrologic characteristics, reservoir space types and diagenesis evolution of Carboniferous volcanic rocks in Santanghu basin shows that the main type of volcanic rock is basalt-dominant volcanic lava, and the main oil-bearing space is amygdale and dissolved matrix pores. The subsequent analysis of volcanic reservoirs reveals that the ingredient and structure determine the potential of secondary pores development, and the reservoir quality is improved significantly in the volcanic rocks which contain less phenocryst, more hyaline and more porosity, and the scoriaceous lava on the top of the effusive facies is the major reservoir. It also reveals that zeolite and chlorite are regularly distributed in the volcanic reservoirs, and the weathering and leaching area nearby the hydrocarbon generation center and the slope zone is the most favorable area for reservoirs

Key words: Santanghu basin; Volcanic reservoir; Scoriaceous lava; Zeolite; Rock fabric.