

哈山构造带火山岩储层发育特征及控制因素

张奎华^{1,2}, 林会喜^{1,2}, 张关龙², 许文国²

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580;

2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司西部新区研究院, 山东东营 257000)

摘要:利用薄片、岩石元素全分析、扫描电镜等多种分析测试手段,结合测井资料分析,开展准西北缘哈拉阿拉特山(哈山)造山带火山岩发育背景、岩性组合、储层成因及控制因素研究。结果表明:研究区上石炭统火山岩形成于陆缘岛弧及大洋岛弧背景,发育火山角砾岩、凝灰岩、玄武岩、安山岩及流纹岩组合;主要储集空间类型为构造裂缝及溶蚀孔缝;岩性岩相是成储基础,成岩作用控制了储层演化,构造演化是火山岩成储的主控因素和关键;在推覆体前翼、构造转折端和多期次断层交汇处的凝灰岩、火山角砾岩发育区以及受长期风化淋滤作用改造的火山角砾岩及火山熔岩发育带,为火山岩储层有利发育区。

关键词:哈拉阿拉特山;山前构造带;火山岩;储层;石炭系;构造演化

中图分类号:TE 122.2 **文献标志码:**A

引用格式:张奎华,林会喜,张关龙,等. 哈山构造带火山岩储层发育特征及控制因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2015,39(2):16-22.

ZHANG Kuihua, LIN Huixi, ZHANG Guanlong, et al. Characteristics and controlling factors of volcanic reservoirs of Hala'alate mountains tectonic belt[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015,39(2):16-22.

Characteristics and controlling factors of volcanic reservoirs of Hala'alate mountains tectonic belt

ZHANG Kuihua^{1,2}, LIN Huixi^{1,2}, ZHANG Guanlong², XU Wenguo²

(1. College of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Research Institute of New District in West China in Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: Based on multiple measurement methods such as slices, rock element analysis and scanning electron microscope, combined with logging data analysis, the formation geological background, lithological association, reservoir genesis and controlling factors of volcanic rock in Hala'alate tectonic belt in northwest margin of Junggar Basin were studied. The results show that the volcanic rock of Upper Carboniferous in this region was formed under the background of epicontinental arc and oceanic island arc, and which are composed of volcanic breccia, tuff, basalt, andesite and rhyolite. The main types of the volcanic reservoir space are tectonic fissures, solution pores and fissures. In the course of reservoir formation, lithology and lithofacies are the basis, diagenesis controls reservoir evolution, tectonic evolution is main controlling factor. The development zones of tuff and volcanic breccia in the frontal wing and transition of nappes, multi-phases faults convergence belt and the development zones of volcanic breccia and volcanic lava reconstructed by long period weathering-leaching processes are the favorable areas of volcanic rock reservoir in Hala'alate tectonic belt.

Keywords: Hala'alate mountains; sub-mountain tectonic belt; volcanic rock; reservoir; Carboniferous; tectonic evolution

哈拉阿拉特山(以下简称哈山)位于新疆北部准噶尔盆地西北缘。近年来,哈山造山带外来推覆

系统石炭系火山岩勘探取得较大突破^[1],且优质储层控藏作用明显。目前在火山岩储层评价及预测方

面尚未形成成熟的技术体系^[2-4],在一定程度上制约了该区及类似复杂构造区带的进一步勘探部署。前人研究^[5-10]主要侧重于盆地构造稳定区带岩性岩相及风化淋滤作用对火山岩储层的控制作用,对复杂造山带火山岩储层发育特征及主控因素研究甚少。笔者以哈山复杂山前构造带火山岩储层为研究对象,重点剖析山前构造带火山岩成因、储层类型及控制因素。

1 哈山构造发育特征及火山岩形成地质背景

1.1 哈山地区构造发育特征

哈山构造带处于哈山-德伦山构造带的西端,南临乌夏断阶带及玛湖凹陷,北以达尔布特断裂带与和什托洛盖盆地相接,整体呈东北-南西向展布^[1]。由于位于准噶尔盆地西北缘前陆褶皱冲断带,哈山地区经历了复杂的构造演化过程,整体发育

多期次逆冲推覆构造^[1,11-12]。其构造演化过程大致可划分为 3 个阶段:第一阶段为早二叠世末期原地冲断阶段,第二阶段为中二叠世到三叠纪逆冲推覆阶段,第三阶段为喜山期走滑阶段^[1]。在多期次构造活动控制下,研究区内发育了 6 期推覆体。其中推覆体 II、III、VI 及 IV 中主要充填石炭系火山岩(图 1,据文献^[1]修改),且多口探井见到丰富油气显示。

1.2 火山岩形成地质背景

哈山及周缘地区上石炭统哈拉阿拉特山组火山岩较为发育。对 113 个火山岩钻井样品及露头样品的主量和微量元素测试结果综合分析表明,研究区火山岩以中基性为主,硅质含量高,富钠,FeO 含量高,整体以碱性火山岩占绝对优势;微量元素构造环境判别结果表明,火山岩发育于岛弧或与大洋中脊有关的岛弧环境(图 2)。结合区域构造及古地理背景^[13],综合判断该套火山岩形成于陆缘岛弧或与残留洋盆有关的岛弧背景。

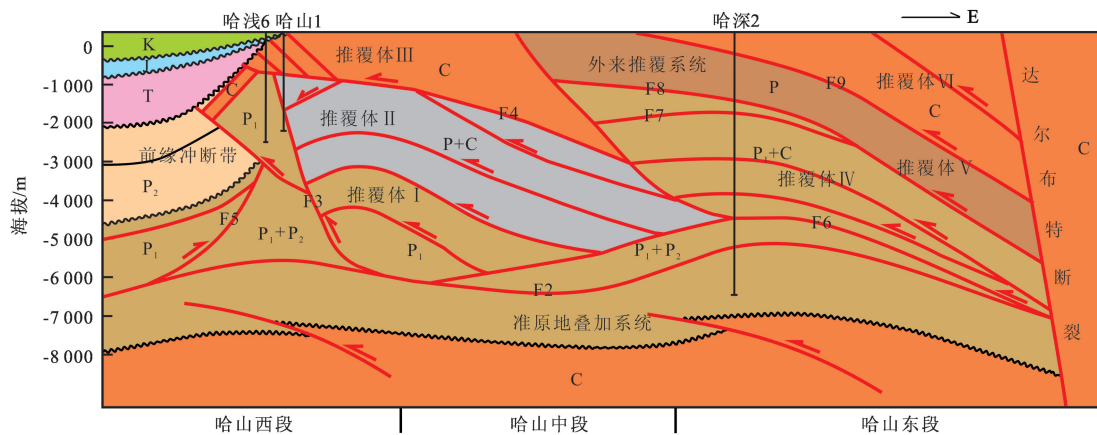


图 1 哈山构造带东西向地质结构剖面

Fig. 1 Geological structure profile of Hala'ate mountains

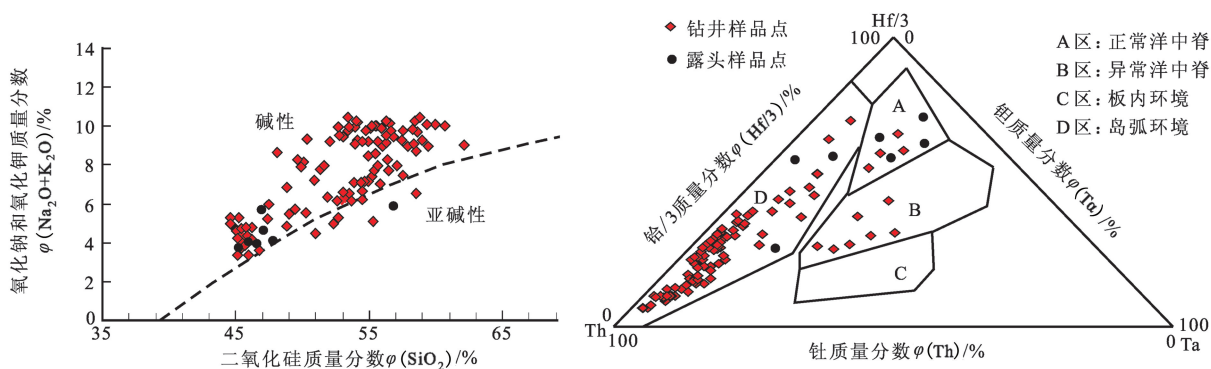


图 2 火山熔岩成分判别全碱图及形成环境判别图

Fig. 2 Total alkalis discriminant diagram and triangular discriminant diagram of volcanic rock

2 储层岩石学特征及储集空间类型

2.1 储层岩石学特征

在岩心观察、普通薄片及元素分析的基础上,结合测井响应特征,对研究区火山岩储层岩石学特征进行精细研究,结果表明研究区主要发育玄武岩、安山岩、流纹岩、火山角砾岩及凝灰岩等5种类型火山岩。其中玄武岩发育斑状结构,斑晶以辉石和橄榄石为主,基质以基性斜长石为主,发育气孔杏仁构造,分布于哈浅6、哈山2及哈山露头区;安山岩发育斑状及交织结构,斑晶以长石及角闪石为主,基质以中基性斜长石为主,常见环带结构以及蚀变形成的溶蚀结构,含暗色矿物角闪石、辉石及黑云母等;流纹岩发育斑状结构,斑晶以酸性长石和石英为主,溶孔较发育,在测井曲线上突出表现为高自然伽马值,主要发育于露头区及哈浅102、哈浅3等井区;火山角砾岩发育典型的火山角砾结构,角砾搭成格架,格架间充填细粒火山灰物质,在后期地质作用下火山灰被碱性流体溶蚀、交代而形成自形、半自形方解石等碳酸盐矿物,为后期溶蚀孔洞的形成奠定物质基础;凝灰岩多发育熔结结构,含有岩屑、晶屑及玻屑,且三者含量变化较大,在露头区及多口钻井中均广泛发育。此外研究区还发育少量橄榄玄武岩、安山玄武岩、英安岩及辉绿岩等类型火成岩。

在此基础上,利用常规测井曲线主成分分析法,优选出对岩性识别灵敏度较高的6条曲线,即自然伽玛(GR)、深侧向电阻率(RLLD)、密度(DEN)、声波时差(AC)、铀(U)和钍(Th),开展了火山岩测井岩性识别。对不同岩性的测井曲线响应特征进行分析,将其中相关程度高的曲线组合,可以较好地地区分不同岩性(图3)。对全区多口探井火山岩进行了岩性识别,统

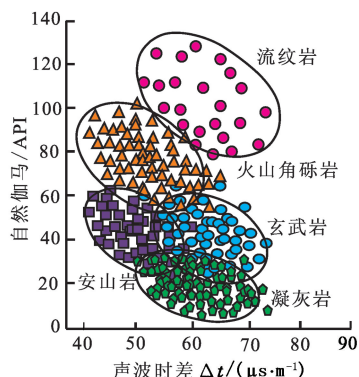


图3 火山岩岩性 GR-AC 测井识别图

Fig. 3 Lithology identification distribution diagram by using GR-AC data

计结果表明火山岩整体以火山角砾岩及凝灰岩为

主,其次为玄武岩、安山岩和流纹岩(图4)。

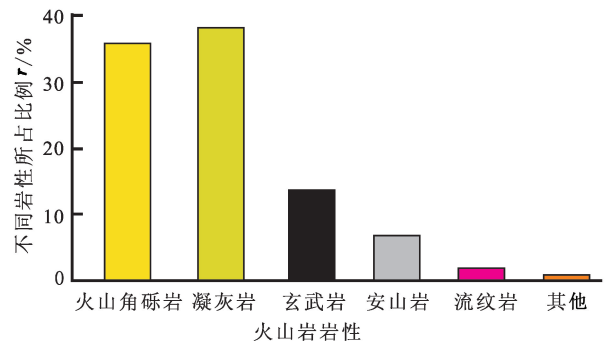


图4 火山岩岩性分布

Fig. 4 Lithology distribution of volcanic rocks

2.2 储集空间类型

火山岩储层不具有岩石类型的专属性^[4],石炭系火山岩经历了漫长的成岩演化过程,储集空间类型较为复杂。宏观观察及铸体薄片、扫描电镜等微观分析表明,研究区的火山岩储集空间类型按照成因可划分为原生孔隙、次生孔隙、原生裂缝及次生裂缝等4大类12种类型。其中,原生孔隙包括气孔、晶间孔及砾(粒)间孔,次生孔隙包括晶间溶孔、晶内溶孔、砾(粒)间溶孔、超大溶孔和基质溶孔等,原生裂缝包括冷凝收缩缝和斑晶炸裂缝,次生裂缝包括构造缝及溶蚀缝等(图5)。从统计结果来看,研究区火山岩储层储集空间类型整体以次生构造裂缝和溶蚀孔缝为主,构成了火山岩主要的储集空间,约占整个储集空间的70%。进一步研究发现,构造裂缝和溶蚀孔缝的发育具有较强的非均质性,那些形成期较晚且未被成岩矿物完全充填的孔缝为有效的储集空间,形成油气富集区。

3 储层控制因素

3.1 岩性岩相特征

不同成因火山岩在火山机构类型、喷发方式、岩性组合及早期成岩作用类型方面存在较大差异性。这些差异性决定了不同类型火山岩的抗风化能力、溶蚀孔隙的发育潜力及造缝能力,也决定了储层物性条件。

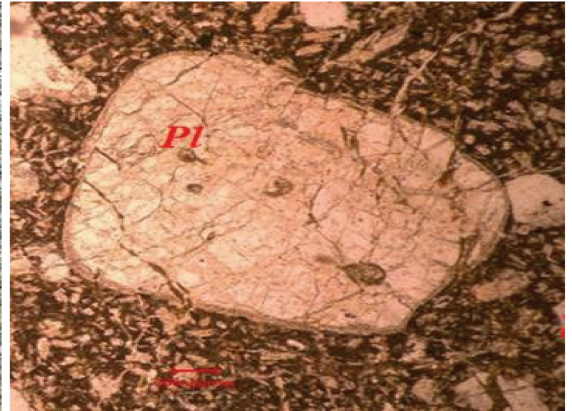
从哈山地区研究结果来看,火山角砾岩及中酸性火山熔岩较凝灰岩具更有利的组构条件而更易形成溶蚀孔隙;在相同的构造条件下凝灰岩和火山角砾岩较火山熔岩则具有更强的造缝能力。哈山地区火山岩发育于陆缘岛弧和大洋岛弧背景,以爆发相的凝灰岩和火山角砾岩为主,溢流相所占比例小。火山角砾岩从组构上来看与粗碎屑岩类似,砾(粒)间火山玻璃、火山灰等非稳定型物质易交代形成各类碳酸盐矿

物,为后期遭受进一步溶蚀形成各类溶蚀孔隙奠定了物质基础。凝灰岩具有致密的凝灰结构,成分混杂粒度细,成岩后地层水难以在内部有效流动,致使岩石内外缺少物质的带入和带出,后期溶蚀改造作用较弱,难以形成有效溶蚀空间;同时,正是由于其致密的结构使之成为最易发育构造裂缝的火山岩。从统计结果来看,哈山地区 5 类火山岩后期溶蚀作用发育难易程度顺序为凝灰岩>安山岩>玄武岩>流纹岩>火山

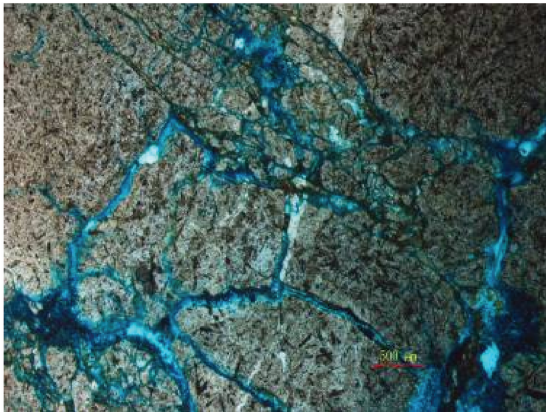
角砾岩,后期造缝能力由强及弱的顺序为凝灰岩>火山角砾岩>流纹岩>安山岩>玄武岩(图 6),整体反映了岩性岩相对储层物性及有效性的控制作用。另外,从研究区内不同岩性含油性统计结果中可看出,爆发相凝灰岩及火山角砾岩更易于发育裂缝及溶蚀孔缝,含油性最好;中基性熔岩玄武岩和安山岩难以形成大规模溶蚀,后期造缝能力也一般,致使整体储层物性较差,油气显示也较差(图 7)。



(a) 冷凝收缩缝, Z1203-4, 铸体薄片



(b) 长石晶内炸裂缝, 哈浅6井, 648.5 m, 单偏光



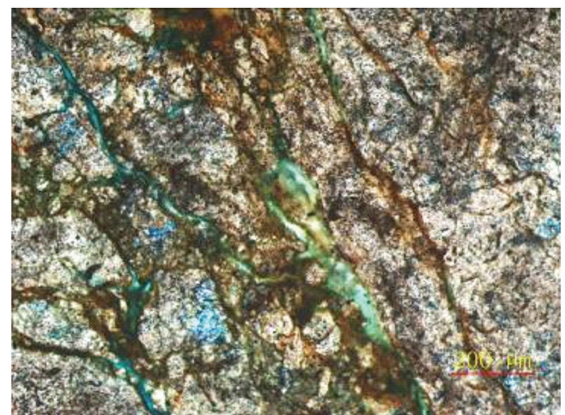
(c) 构造裂缝, 具多阶段性, 哈浅6井, 298.9 m, 铸体薄片



(d) 构造裂缝, 具多阶段性, 哈浅6井, 300.1 m, 铸体薄片



(e) 构造裂缝, 具多阶段性, 哈浅6井, 140.0 m, 正交光



(f) 构造裂缝与溶蚀裂缝, 哈浅6井, 300.1 m, 铸体薄片

图 5 石炭系火山岩裂缝类型及特征

Fig. 5 Fracture types and characteristics of volcanic rocks in Carboniferous

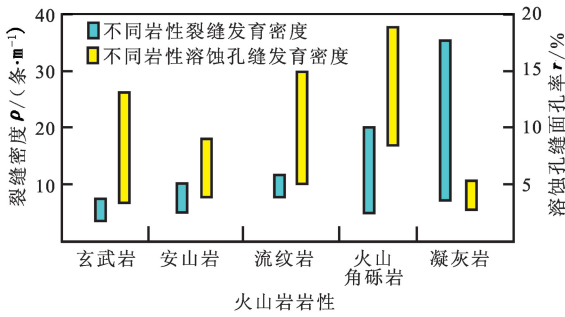


图6 不同岩性火山岩与发育储集空间统计

Fig. 6 Volcanic spaces statistics of different lithology of volcanic rocks

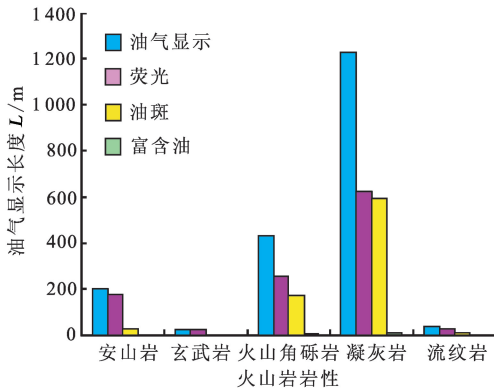


图7 火山岩含油性与岩性分布

Fig. 7 Lithology and oiliness distribution diagram of volcanic rocks

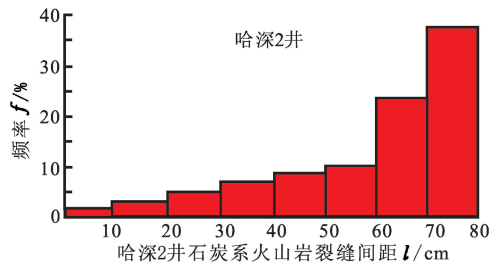
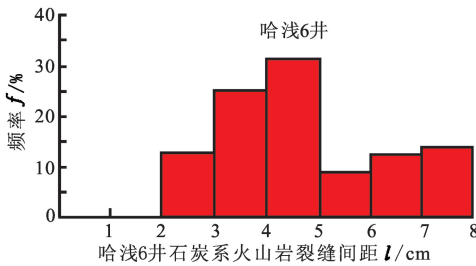


图8 推覆体III哈浅6井、推覆体IV哈山2井火山岩裂缝密度频率统计

Fig. 8 Fracture density frequency histogram of volcanic rocks of well Haqian 6 in nappe III and well Hashan 2 in nappe IV

3.3 成岩作用

火山岩成岩作用主要划分为早期成岩作用和后生成岩作用^[14]。研究区火山岩系包括火山熔岩和火山碎屑岩,早期成岩作用对火山熔岩主要表现为冷凝固结作用,对火山碎屑岩主要表现为压实固结或熔结作用,可见早期成岩作用对储层物性整体具有破坏性作用;后生成岩作用则对火山岩储层物性具有决定性作用,既可以充填孔缝使储层物性变差,也可以在溶解作用或断裂作用下形成次生孔缝而改善储层物性。

从微观发育特征来看,哈山地区火山岩后生成岩作用主要表现为构造、风化淋滤、溶蚀、充填及蚀

3.2 构造作用

晚海西期以来,哈山构造带经历了复杂构造演化过程^[1]。每期构造变动对石炭系火山岩储层的发育演化均有较大影响。总体来看,由于推覆体I和IV处于逆冲推覆转折褶皱区和断裂交汇区,地质体发生局部转折致使裂缝最为发育。推覆体II的下部及推覆体III的前翼由于不同期次不同级别断层相互切割,裂缝也较发育。推覆体V和VI裂缝处于推覆体后翼,主要表现为板状或整体的逆冲,地质体整体受到构造应力的拖曳作用,总体上裂缝发育较差。由此可见,不同构造区带在造山带复杂构造演化过程中所受到构造应力的规模不同,在宏观上控制了不同区带火山岩裂缝的发育程度。从野外及钻井数据统计结果来看,一级大断裂(图1中F2、F3、F4断裂)可控制裂缝发育范围为2~3 km,一级大断裂派生的二级断层可控制裂缝发育范围为0.5~1.0 km,随着与断裂距离的增大,裂缝规模变小、密度逐渐降低。处于逆冲推覆前翼带的推覆体III中的哈浅6井区裂缝规模及密度较大;处于逆冲推覆后翼推覆体IV中的哈深2井区裂缝规模及密度相对较小(图8)。可见,哈山逆冲推覆带火山岩储层的发育程度主要受到构造作用控制。

变作用。其中在多期次构造活动影响下形成的多期次生构造成缝作用、在裂缝沟通下发生的多期次溶蚀作用和逆冲推覆作用将火山岩抬升至近地表处的风化淋滤作用,对火山岩储层的发育具有建设性作用;而压实及充填作用对储层的发育具有破坏性作用。各种成岩作用下储层物性呈现复杂演化过程,晚石炭世早期火山岩形成以来,在复杂构造运动控制下火山岩储层物性呈现晚石炭世末期得到改善、物性变好→二叠纪物性受到破坏,物性变差→二叠纪末期以来物性不断改善、逐渐变好的演化过程(图9)。

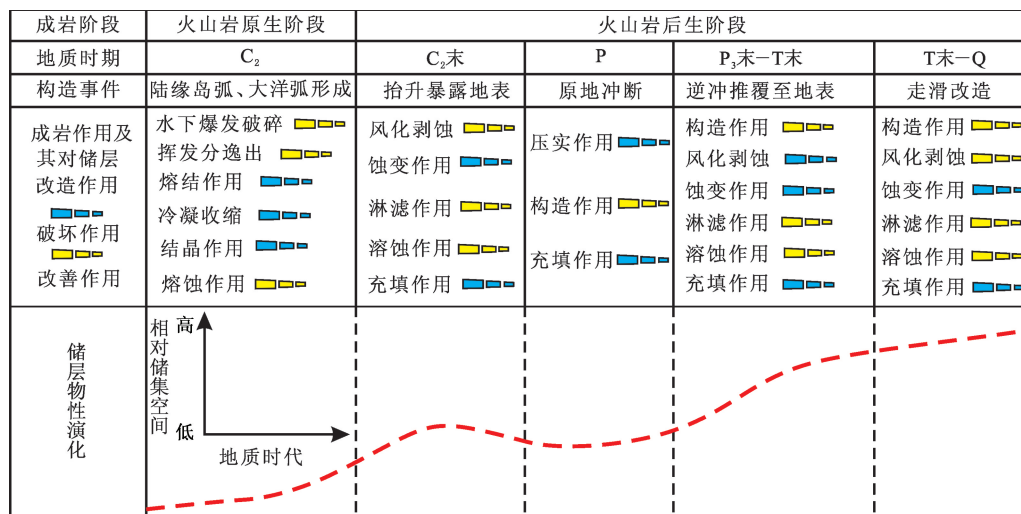


图 9 哈山外来推覆体火山岩储层成岩作用及物性演化

Fig. 9 Diagenesis and physical property evolution of volcanic reservoir in foreign nappe of Hala'alate mountains

哈山复杂山前造山带火山岩储层发育主控因素较为复杂,火山岩岩性岩相特征为储层发育的内因,为后期构造作用及多种成岩作用奠定了基础。不同火山岩差异组构决定了后期储层演化及最终储集性能,而构造演化过程控制了整个外来推覆系统火山岩成岩过程及成岩作用类型,是火山岩储层发育的决定性因素。多期次抬升地表遭受风化淋滤、溶蚀作用及多期次冲断、逆冲推覆作用而形成的多期次构造裂隙是形成优质火山岩储层的关键因素。在推覆体多期次冲断及逆冲推覆过程中,推覆体前翼、转折处、断层交汇处为裂隙及溶蚀孔洞发育有利区,推覆体后翼则不利于裂隙发育。在推覆体前翼、转折端、断层交汇处凝灰岩、火山角砾岩发育区以及受长期风化淋滤作用改造的火山角砾岩及火山熔岩发育区,均有利于火山岩储层发育,应该引起油气勘探者的重视。

4 结 论

(1) 哈山山前带外来推覆系统火山岩主要形成于晚石炭世陆缘岛弧或与残留洋盆相关的岛弧背景,主要由火山熔岩与火山碎屑岩组成,包括火山角砾岩、凝灰岩、玄武岩、安山岩及流纹岩等 5 种岩性,其中以爆发相火山角砾岩和凝灰岩为主。

(2) 火山岩主要发育储集空间包括原生孔隙、次生孔隙、原生裂隙、次生裂隙 4 大类和气孔、晶间孔、砾(粒)间孔、晶间溶孔、晶内溶孔、砾(粒)间溶孔、超大溶孔、基质溶孔、冷凝收缩缝、斑晶炸裂缝、构造缝、溶蚀缝等 12 种类型,其中以构造裂隙和溶蚀孔缝为主要储集空间类型。

(3) 哈山复杂山前造山带火山岩储层发育主控因素较为复杂,火山岩岩性岩相为储层发育的内因,

为后期复杂构造作用及成岩作用控制成储奠定了基础。构造演化过程控制了整个外来推覆系统火山岩成岩过程及成岩作用类型,是火山岩储层发育的决定性因素。成岩过程控制了储层物性的演化过程。三因素综合分析认为,在哈山推覆体前翼、构造转折端、断层交汇处凝灰岩、火山角砾岩发育区以及受长期风化淋滤作用改造的火山角砾岩及火山熔岩发育区,均有利于火山岩储层发育,是油气勘探有利区带。

参考文献:

- [1] 于洪洲. 准噶尔盆地西北缘哈拉阿拉特山前复杂构造带建模技术[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(增1): 91-97.
YU Hongzhou. Complicated structure modeling in front-zone of Hala'alate Mountain of northwestern margin, Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(sup 1): 91-97.
- [2] 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): 257-270.
ZOU 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, 35(3): 257-270.
- [3] 张玉广, 刘永健, 霍进杰, 等. 中国火山岩油气资源现状及前景预测[J]. 资源与产业, 2009, 11(3): 23-25.
ZHANG Yuguang, LIU Yongjian, HUO Jinjie, et al. Petroleum resources and prospect in volcanic rock in China[J]. Resources and Industries, 2009, 11(3): 23-25.
- [4] 石磊, 李书兵, 黄亮, 等. 火山岩储层研究现状与存在的问题[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(5): 68-72.

- SHI Lei, LI Shubing, HUAGN Liang, et al. Current research situation and the problems of volcanic rock reservoirs[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition), 2009,31(5):68-72.
- [5] 侯连华,罗霞,王京红,等. 火山岩风化壳及油气地质意义;以新疆北部石炭系火山岩风化壳为例[J]. 石油勘探与开发,2013,40(3):257-265.
- HOU Lianhua, LUO Xia, WANG Jinghong, et al. Weathered volcanic crust and its petroleum geologic significance: a case study of the Carboniferous volcanic crust in northern Xinjiang[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40 (3):257-265.
- [6] 秦小双,师永民,吴文娟,等. 准噶尔盆地石炭系火山岩储层主控因素分析[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2012, 48(1):54-60.
- QIN Xiaoshuang, SHI Yongmin, WU Wenjuan, et al. Analysis of predominant factors of volcanic reservoirs in Carboniferous of Junggar Basin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2012, 48 (1): 54-60.
- [7] 姚卫江,范存辉,党玉芳,等. 准噶尔盆地西北缘中拐凸起石炭系火山岩储层特征及主控因素[J]. 石油天然气学报,2011,33(9):32-36.
- YAO Weijiang, FAN Cunhui, DANG Yufang, et al. Characteristics and main control factors of Carboniferous volcanic reservoirs of Zhongguai uplift in the northeastern margin of Junggar Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011,33(9):32-36.
- [8] 林潼,焦贵浩,孙平,等. 三塘湖盆地石炭系火山岩储层特征及其影响因素分析[J]. 石油天然气学报, 2009,20(4):513-517.
- LIN Tong, JIAO Guihao, SUN Ping, et al. Characteristic and influencing factors of Carboniferous volcanic reservoirs in Santanghu Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009,20(4):513-517.
- [9] 冯子辉,邵红梅,童英. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储集层控制因素研究[J]. 地质学报,2008,82(6):760-768.
- FENG Zihui, SHAO Hongmei, TONG Ying. Controlling factors of volcanic gas reservoir property in Qingshen gas field, Songliao Basin [J]. Acta Geologica Sinia, 2008, 82 (6):760-768.
- [10] SRUOGA P, RUBINSTEIN N, HINTERWINMMER G. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the serie Tobifera, south Patagonia, Argentina [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2004, 132:31-43.
- [11] 胡杨,夏斌. 哈山地区构造演化特征及对油气成藏的影响[J]. 西南石油大学学报:自然科学版, 2013, 35 (1):35-40.
- HU Yang, XIA Bin. Tectonic evolution characteristics of Hala'alate mountains and their influence on hydrocarbon accumulation in northern Xinjiang [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2013, 35 (1): 35-40.
- [12] 孙自明,洪元太,张涛. 新疆北部哈拉阿拉特山走滑-冲断复合构造特征与油气勘探方向[J]. 地质科学, 2008, 43 (2):309-320.
- SUN Ziming, HONG Yuantai, ZHANG Tao. Strike-slip-thrust composite structures and its relationships to hydrocarbon in Hala'alate Mountains, northern Xinjiang [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43 (2): 309-320.
- [13] 吴晓智,齐雪峰,唐勇,等. 新疆北部石炭纪地层、岩相古地理与烃源岩[J]. 现代地质, 2008, 22 (4): 549-557.
- WU Xiaozhi, QI Xuefeng, TANG Yong, et al. Carboniferous strata and lithofacies paleogeography and source rock in northern Xinjiang [J]. Geoscience, 2008, 22 (4): 549-557.
- [14] 高有峰,刘万洙,纪学雁,等. 松辽盆地营城组火山岩成岩作用类型、特征及其对储层物性的影响[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2007,37(6):1251-1257.
- GAO Youfeng, LIU Wanzhu, JI Xueyan, et al. Diagenesis types and features of volcanic rocks and its impact on porosity and permeability in Yingcheng Formation, Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37 (6): 1251-1257.

(编辑 徐会永)