文章编号:1673-5005(2014)05-0001-08

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2014.05.001

准噶尔盆地克拉美丽气田石炭系火山岩 储层特征及成岩演化

曲江秀, 高长海, 查明, 张勇

(中国石油大学地球科学与技术学院,山东青岛266580)

摘要:通过岩心观察、薄片鉴定和扫描电镜分析等,研究准噶尔盆地克拉美丽气田石炭系火山岩储层特征。在此基础 上,结合埋藏史、热史和烃类充注史等,确定地质演化背景下的火山岩成岩和孔隙演化动态过程。结果表明,该区火山 岩储层储集空间类型多样,主要由次生溶蚀孔隙和构造裂缝构成,总体属于中孔低渗。火山碎屑岩、火山熔岩和次火山 岩物性较好,火山-沉积碎屑岩物性较差。火山岩孔隙结构分为3类,其空间分布受构造、不整合面和岩性控制。火山 岩储层主要发育7种成岩作用,其成岩演化经历了同生成岩阶段、表生成岩阶段和埋藏成岩阶段3个阶段,火山岩储集 性能与表生成岩阶段风化淋滤作用密切相关,埋藏成岩阶段深埋溶蚀作用进一步增大了火山岩储集空间。

关键词:准噶尔盆地;克拉美丽气田;石炭系;火山岩;储层特征;成岩演化

中图分类号:TE 122.2 文献标志码:A

引用格式:曲江秀,高长海,查明,等.准噶尔盆地克拉美丽气田石炭系火山岩储层特征及成岩演化[J].中国石油大 学学报:自然科学版,2014,38(5):1-8.

QU Jiangxiu, GAO Changhai, ZHA Ming, et al. Reservoir characteristics and diagenetic evolution of Carboniferous volcanic rock in Kelameili gas field of Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science),2014, 38(5):1-8.

Reservoir characteristics and diagenetic evolution of Carboniferous volcanic rock in Kelameili gas field of Junggar Basin

QU Jiangxiu, GAO Changhai, ZHA Ming, ZHANG Yong

(School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: The reservoir characteristics of the Carboniferous volcanic in Kelameili gas field of Junggar Basin were studied using core observations, microscopic identification and scanning electron microscope analysis. Combining with burial history, thermal history and hydrocarbon infilling history, the diagenetic evolution and the pore dynamic evolution of the volcanic reservoir were derived. The results show that there are many types of volcanic reservoir spaces, but the secondary dissolved pores and structural fractures are the most abundant types. The reservoir is in general medium porosity and low in permeability. The reservoir property of pyroclastic rock, volcanic lava and subvolcanic rock is better than that of volcanic sedimentarypyroclastic rocks. The volcanic pore structure can be divided into three categories. Its spatial distribution is controlled by structure, unconformity and lithology. There are mainly seven types of diagenesis. The diagenesis stage and burial diagenesis stage, respectively. The reservoir capacity is closely related to weathering and leaching in the exodiagenesis diagenesis stage. The dissolution in burial diagenesis stage may have further enlarged the volcanic reservoir space.

Key words: Junggar Basin; Kelameili gas field; Carboniferous; volcanic; reservoir characteristics; diagenetic evolution

收稿日期:2013-12-12

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05001);国家自然科学基金项目(41272141);中央高校基本科研业务费专项(14CX02034A);山东省 自然科学基金项目(ZR2013DM016)

作者简介:曲江秀(1974-),女,副教授,博士,主要从事石油地质教学与科研工作。E-mail:qujxiu@163.com。

随着常规油气勘探和开发难度的加大以及全球 对油气资源需求的增加,蕴藏丰富油气资源的火山 岩等非常规储层愈来愈受到重视^[13]。相对于中国 东部地区火山岩储层,西部地区风化壳型火山岩喷 发期次多,后期改造强,储层明显受到风化淋滤作用 的控制^[2],储集空间类型多样,成岩作用及成岩演 化更加复杂。目前对火山岩的成岩作用大多为静态 研究^[46],而对火山岩在其地质、构造和成藏背景下 的成岩和孔隙演化动态研究较少。笔者在研究准噶 尔盆地克拉美丽气田石炭系火山岩孔隙类型、物性 及孔隙结构等储层特征的基础上,结合埋藏史、烃类 充注史和构造演化史等,明确其在地质演化背景下 的成岩和孔隙演化动态过程。

1 基本地质概况

克拉美丽气田位于准噶尔盆地陆梁隆起东部, 滴南凸起的西端(图1)。从盆地形成和演化来看, 主要经历了海西、印支、燕山及喜山四期构造运动。



图1 准噶尔盆地克拉美丽气田位置和石炭系顶面构造图

Fig. 1 Position and structural map of the top of Carboniferous in Kelameili gas field of Junggar Basin

研究区地层发育较全,自下而上发育石炭系、二叠 系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系。本文研究目 的层位石炭系是准噶尔盆地的基底,为海西期形成 的一套火山岩建造。该区石炭系采取二分的原则, 目前只钻遇了上石炭统巴塔玛依内山组,而下石炭 统滴水泉组主要见于克拉美丽山露头(图2)。石炭 纪的构造演化表现为:在早石炭世,盆地腹部克拉美 丽残余洋盆由于洋壳俯冲消减,形成了陆缘火山弧, 早石炭世末期,洋盆闭合^[7]。晚石炭世,进入碰撞 造山阶段,以深成岩浆活动为特征^[8]。火山岩地球 化学特征显示其为板内环境,兼具部分岛弧特征 (岩浆受到碰撞前弧组分的混染^[7,9])。石炭系形成 之后,基底受晚海西期强构造挤压作用整体抬升,强 烈的风化淋滤作用以及后期构造改造,导致石炭系 火山岩变形变位严重[2,10-11]。克拉美丽气田石炭系 钻揭火山岩岩石类型多,主要有火山熔岩、火山碎屑 岩、次火山岩以及火山碎屑沉积岩等。火山熔岩类 以中基性岩为主,常为斑状结构,具气孔构造和杏仁 构造。火山碎屑岩以凝灰岩为主,另有少量火山角 砾岩。次火山岩与火山熔岩的岩浆同源,区别在于 次火山岩的岩浆并没有喷出地表,而是岩浆在近地



Fig. 2 Stratum and structure composite histogram of Ludong-Wucaiwan area in Junggar Basin

表超浅成侵入冷凝固结形成,岩性主要为二长斑岩等,也常见斑状结构,但无气孔构造和杏仁构造。火山-沉积碎屑岩类主要有沉凝灰岩、凝灰质细砂岩等。

2 储层特征

2.1 储集空间类型

该区火山岩原生储集空间较少,储集空间主要

是后期成岩作用的产物,按成因可以划分为原生和 次生两大类,按形态可以划分为孔隙和裂缝两大类, 进一步可细分为原生孔隙、次生孔隙、原生裂缝和次 生裂缝4大类^[12]。虽然该区火山岩储集空间类型 多,发育3种原生孔隙、7种次生孔隙、2种原生裂缝 和2种次生裂缝(表1和图3),但总体上主要由次 生溶蚀孔隙和构造缝构成。

表 1 准噶尔盆地克拉美丽气田石炭系火山岩储集空间类型及特征 Table 1 Types and characteristics of Carboniferous volcanic reservoir space

	in Kelameili gas field of Jur	nggar Basin	
储集空间类型	分布特征	形成机制	代表非

储集空间类型		空间类型	分布特征	形成机制	代表井
		原生气孔	玄武岩、安山岩	挥发份残留	滴 403 井
- 孔隙	原生	晶屑熔孔	凝灰岩	熔蚀作用	滴 101 井
		残余气孔	玄武岩、安山岩	气孔未完全充填	滴西 17 井
		斑晶溶孔	次火山岩和中基性熔岩		滴西 18 井
	次生	基质溶孔	熔岩、次火山岩和凝灰岩	风化淋滤作用和深 埋溶蚀作用将岩石 中的星流200300	滴西 18 井
		杏仁体内溶孔	玄武岩、安山岩		滴 401 井
		玻屑溶孔	凝灰岩		滴 101 井
		岩屑溶孔	凝灰岩	中的勿俗组丌可丌	
		粒内溶孔	火山角砾岩	或完全溶蚀	注于 100
		填隙物溶孔	火山角砾岩		商四 182
裂缝	原生	收缩缝	熔结凝灰岩和火山熔岩	冷凝收缩作用	滴 101 井
		炸裂缝	凝灰岩	气液爆炸作用	滴 101 井
	次生	溶蚀缝	次火山岩、火山熔岩	溶蚀作用	滴 103 井
		构造缝	各类火山岩	构造破裂作用	滴西 173 井

2.2 储层物性特征

该区火山岩储层总体上属于中孔低渗,不同岩 类的物性存在差异,火山碎屑岩、火山熔岩和次火山 岩储集物性较好(图4)。火山碎屑岩平均孔隙度最 高(平均10.2%),其次为次火山岩(平均9.0%), 然后为火山熔岩(平均8.3%)。火山熔岩平均渗透 率最高(平均11.3×10⁻³ μm²),其次为次火山岩(平 均7.1×10⁻³ μm²),然后为火山碎屑岩(平均5.6× 10⁻³ μm²)。火山-沉积碎屑岩物性较差,平均有效 孔隙度为7.6%,平均渗透率仅0.7×10⁻³ μm²。

2.3 孔隙结构特征

火山岩孔隙结构反映储层中各种孔隙之间连 通喉道的组合,是孔隙与喉道发育的总貌^[13],毛管 压力曲线可以用来研究储层孔隙结构^[13-14],其中 最大进汞饱和度和排驱压力可以反映孔喉连通 性。结合铸体薄片,根据毛管压力曲线形态和最 大进汞饱和度将该区火山岩储层孔隙结构分为3 类(图5)。

I型孔隙结构火山岩基质溶孔和构造缝发育。构造缝缝宽大、延伸长。构造缝及微裂缝沟

通孔隙,起到很好的连通作用。压汞曲线中间平 缓段较长,孔喉分选较好。最大进汞饱和度可高 于80%,排驱压力约0.6 MPa,反映了较好的孔喉 连通性。

Ⅱ型孔隙结构火山岩较致密,溶蚀孔隙基本不 发育,虽发育构造裂缝,但缝宽小、延伸较短。压汞 曲线基本没有中间平缓段,孔喉分选差。最大进汞 饱和度约为55%,排驱压力约0.3 MPa,孔喉连通性 一般。

Ⅲ型孔隙结构则基本没有孔隙,裂缝被完全充填。压汞曲线无中间平缓段,孔喉分选最差。最大进汞饱和度仅 25%,排驱压力较大,约 1.0 MPa,孔喉连通性较差。

上述对比分析表明,具备较好孔喉连通性的火 山岩储层的共同特征为次生溶蚀孔隙发育,且被构 造裂缝及微裂缝沟通。结合新疆北部石炭系火山岩 油气藏提交探明储量的有效孔隙度下限(6%)和有 效渗透率的下限(0.5×10⁻³ μm²)^[15], I和Ⅱ型孔隙 结构的火山岩储层均可以成为有效储层,而Ⅲ型孔 隙结构则难以成为有效储层。



该区火山岩孔隙结构空间分布受到构造、不整 合面和岩性联合控制。平面上,构造高部位和近断 裂火山岩受后期改造强度大,次生溶孔和构造裂缝 发育,具有较好的孔隙结构,而在构造低部位和远离 断裂的火山岩孔隙结构较差,主要为Ⅲ型孔隙结构。 纵向上,该区火山岩储层孔隙结构在近不整合面处 较好,而随着与不整合面距离的增大而变差(图6), 在石炭系不整合面之下 250 m 之内可以达 Ⅰ 型孔隙

结构,溶孔和构造缝均较发育,孔喉连通性较好,而 在不整合面 300 m 之下孔隙和裂缝基本被充填,为 Ⅲ型孔隙结构,孔喉连通性差。此外,火山岩孔隙结 构还受到岩性控制,火山碎屑岩、火山熔岩和次火山 岩受后期改造均可形成 I 型或 Ⅱ 型孔隙结构,火山 -沉积碎屑岩孔隙结构较差,一般为Ⅲ型孔隙结构, 孔喉连通性较差,难以成为有效储层。

孔隙结 构类型	Ι	Π	Ш	
孔隙度	10.8~17.6	0.8~12.8	2.9~7	
φ/%	14.4	4.23	4.36	
渗透率k/	0.04~124	0.01~31.8	0.01~0.05	
10 ⁻³ μm ²	36.02	1.55	0.03	
毛管压 力曲线	^v uW/d 1 1 00 1 1 00 50 0 汞饱和度S _{ii} /%	^{CONV/d} f H 0.01 100 50 0 汞饱和度S _{Hs} /%	vall/d 1 1 100 50 0 汞饱和度Sng/%	
	3. 856 45 km	3. 506 91 km	4. 159 99 km	
铸体 薄片	3. 85645 km	3. 503 02 km	4. 159 99 km	
岩性	玄武岩	玄武岩	玄武岩	
代表井	滴401	滴西172	滴西24	



Fig. 5 Pore structure characteristics of Carboniferous volcanic reservoir in Kelameili gas field of Junggar Basin



 图 6 准幅示监地完立美丽《山石灰宗八山 熔岩孔隙结构纵向分布特征
 Fig. 6 Vertical distribution of Carboniferous volcanic lava pore structure in Kelameili gas field of Junggar Basin

3 成岩作用类型及特征

成岩作用不仅能够对原始矿物进行改造形成新 的矿物,而且可以改造火山岩的储集空间,进而影响 火山岩原生储集空间的形成和次生储集空间的演 化^[16-17]。 研究区石炭系火山岩经历了火山喷发环境、表 生大气淡水环境和浅埋-中深埋环境,成岩类型多。 通过对 25 口探井的普通薄片、铸体薄片鉴定以及扫 描电镜分析,认为该区石炭系火山岩主要发育 7 种 成岩作用类型。

建设性成岩作用主要有①挥发逸散作用,是指 在岩浆喷溢出地表过程中,岩浆中的水和二氧化碳 等挥发份逸散残留形成气孔^[16],主要发生于中基性 熔岩中,形成大量的原生气孔(图3(a)和(b))。② 冷凝收缩作用,是指火山物质喷出地表后,由于温度 降低使岩石发生不均匀的冷凝收缩,形成冷凝收缩 缝,缝宽一般较小,且呈不规则状延伸,多见于火山 熔岩和熔结凝灰岩中。③深埋溶蚀作用,主要发生 在埋藏成岩阶段.为来源于深部地壳、地幔热液或深 部有机质排烃形成的有机酸或无机酸及地层水溶蚀 岩石中的不稳定的组分形成次生储集空间的成岩作 用^[17]。被溶蚀的矿物主要有长石斑晶、熔岩基质以 及充填的沸石等易溶矿物,形成次生溶蚀孔隙和溶 蚀缝,对火山岩储集空间起到建设性的改善作用。 ④风化淋滤溶蚀作用,该区石炭系火山岩形成之后, 经历了大约60 Ma的沉积间断。在这期间,火山岩 长期遭受大气淡水淋滤,岩石中的易溶组分,如长石 斑晶、基质以及前期形成的沸石充填等被溶蚀形成 次生溶蚀孔隙(图3(c)~(f)),使火山岩变疏松。 ⑤构造破裂作用,熔结成因的火山岩脆性大,构造运 动会诱发断裂和大量构造缝,构造缝较平直,缝宽较 大(图3(g)和(h))。构造缝不仅沟通孔隙形成有 效储集空间,而且起到连通作用,为后期酸性流体进 入火山岩进一步发生溶蚀作用提供了有利通道。

破坏性成岩作用主要有:①火山热液充填作用, 是指岩浆喷出地表,矿物自岩浆及挥发份中迅速结 晶,或含有大量 Fe²⁺、Mg²⁺、Si⁴⁺等离子的热液进入气 孔和石泡空腔孔,温度降低而沉淀结晶^[16,18]。研究 区火山热液充填主要表现为沸石和绿泥石等充填形 成杏仁体或残余气孔(图 3(c)、(i)和(j))。② 埋 藏充填作用,是指埋藏成岩期孔隙流体化学沉淀作 用对孔隙和裂缝的充填(图 3(k)和(1))。

4 成岩演化与孔隙演变过程

依据成岩作用、成岩环境等特征,将该区石炭系 火山岩成岩阶段划分为同生成岩阶段、表生成岩阶 段和埋藏成岩阶段3个成岩阶段(图7),分别对应 火山喷发环境、表生大气淡水环境和浅埋-中深埋 环境。在此基础上,结合克拉美丽气田埋藏史、生烃 史和构造演化史等,恢复了火山岩成岩演化史,确定 了各成岩事件的时间范围,探讨了火山岩储集空间 的动态演变过程。

4.1 同生成岩阶段

同生成岩阶段是指火山作用过程中,岩浆喷出 地表或浅成侵入,冷凝固结的阶段。从该区埋藏史 图(图7)可见,同生成岩阶段的时间约为距今359 ~290 Ma之间,主要发生挥发逸散作用、冷凝收缩 作用和火山热液充填作用等。挥发逸散作用在火山 熔岩层顶部形成大量的原生气孔,而后由于火山热 液充填作用导致原生气孔被绿泥石、沸石等基本充 填殆尽,造成该阶段后期孔隙急剧减少。





Fig. 7 Diagenetic evolution of Carboniferous volcanic lava in Kelameili gas field of Juggar Basin

4.2 表生成岩阶段

研究区滴西17 井埋藏史图可以看出,该区石炭 系火山岩形成之后,在早二叠世开始遭受了强烈的 构造抬升,进入表生成岩阶段(约290 Ma~250 Ma) (图7)。该阶段,火山岩遭受了强风化淋滤作用和 构造破裂作用。研究区滴西18 井区石炭系次火山 岩顶部出现风化残积层和风化裂缝以及破碎处残存 泥质,都表明其为强风化作用的产物。火山岩暴露 于地表,岩石中长石斑晶、基质以及早期充填的沸石 等易溶矿物被溶蚀而形成次生孔隙。例如,次火山 岩类非常致密,基本没有原生储集空间,但物性常规 分析滴西 18 井石炭系次火山岩有效孔隙度平均为 9.0%,最高可达 19%,平均渗透率为 7.1×10⁻³ µm²,最高可达 844×10⁻³ µm²,储集性能较好,铸体 薄片显示该井区次火山岩储集空间主要为斑晶溶孔 和基质溶孔等次生溶蚀孔隙(图 3(f))。

研究区石炭系火山岩储层有效孔隙度和有效渗 透率与石炭系不整合面距离关系表明,近不整合面 处火山岩储层有效孔隙和渗透率较高,随着与不整 合面距离的增大,孔隙度和渗透率减小(图8)。这 也表明,火山岩储集性能与表生成岩阶段强风化淋 滤作用密切相关。与此同时,该阶段的强构造挤压 活动诱发脆性较大的火山岩破碎,产生大量的构造 缝及微裂缝(图3(g)和(h))。由于裂缝的渗流作 用,进一步加剧了石炭系火山岩体深部的溶蚀,从而 为形成厚度较大的风化壳体创造有利条件。



物性与石炭系不整合面距离的关系

Fig. 8 Relationship between reservoir property of Carboniferous volcanic rocks and distance to unconformity surfaces in Kelameili gas field of Juggar Basin

4.3 埋藏成岩阶段

从 250 Ma 开始,研究区石炭系火山岩接受晚二 叠系沉积物进入埋藏成岩阶段。早埋藏成岩阶段深 度小于 3 200 m,时间距今约 250~145 Ma,主要发生 埋藏充填作用,早期形成的风化淋滤溶蚀孔、裂缝被 方解石等充填,使孔隙度减小^[19]。晚埋藏成岩阶段 深度大于 3 200 m,距今 145 Ma,该阶段因构造、热液 和埋藏等活动而发生影响火山岩储层的各种地质作 用^[16],主要包括构造破裂作用和深埋溶蚀作用等。 研究表明,该期至少经历了 2 期烃类充注,分别在 200~155 Ma 和 145~85 Ma^[20],大量有机酸通过断 层以及次生裂缝进入火山岩储层中。同时,较高的 古地温使水和岩石反应活跃,溶蚀火山岩中的易溶 组分,如火山岩裂缝中碳酸盐岩充填物被溶蚀(图3 (1)),进一步增大了储集空间。

5 结 论

(1)该区石炭系火山岩储集空间类型多,以次 生溶蚀孔隙和构造裂缝为主,储集空间组合方式主 要为孔-缝双重介质。火山岩储层总体上属于中孔 低渗,火山碎屑岩、火山熔岩和次火山岩储集物性较 好,火山-沉积碎屑岩储集物性较差。火山岩孔隙 结构分为3类,火山岩孔隙结构空间分布受到构造、 不整合面和岩性联合控制。

(2)该区石炭系火山岩主要发育7种成岩作用 类型,其中建设性成岩作用主要有挥发逸散作用、冷 凝收缩作用、风化淋滤溶蚀作用、构造破裂作用和深 埋溶蚀作用。破坏性成岩作用主要是火山热液充填 作用和埋藏充填作用。

(3)该区石炭系火山岩成岩演化经历了同生成 岩阶段、表生成岩阶段和埋藏成岩阶段 3 个阶段。 同生成岩阶段主要发生挥发逸散作用产生大量原生 气孔,而后被火山热液基本充填殆尽。表生成岩阶 段由于风化淋滤作用溶蚀,形成大量次生溶蚀孔隙, 同期构造破裂作用形成构造缝进一步加剧了火山岩 的深部溶蚀,形成了风化壳型火山岩储层。埋藏成 岩阶段早期主要发生浅埋充填作用,使孔隙减小。 深埋成岩阶段热液和有机酸等溶蚀作用进一步溶蚀 扩大火山岩储集空间。

参考文献:

[1] 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.

ZOU Caineng, ZHAO Wenzhi, JIA Chengzao, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basin of China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008,35(3):257-271.

[2] 赵文智,邹才能,李建忠,等.中国陆上东-西部地区火 山岩成藏比较研究与意义[J].石油勘探与开发, 2009,36(1):1-11.

> ZHAO Wenzhi, ZOU Caineng, LI Jianzhong, et al. Comparative study on volcanic hydrocarbon accumulations in western and eastern China and its significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009,36(1):1-11.

[3] 刘嘉麒,孟凡超.火山作用与油气成藏[J].天然气工业,2009,29(8):1-4.

LIU Jiaqi, MENG Fanchao. Hydrocarbon generation, migration and accumulation related to igneous activity [J]. Natural Gas Industry, 2009,29(8):1-4.

 [4] 戴亚权,罗静兰,林潼,等.松辽盆地北部升平气田营 城组火山岩储层特征与成岩演化[J].中国地质, 2007,34(3):528-535.

DAI Yaquan, LUO Jinglan, LIN Tong, et al. Reservoir characteristics and petrogenesis of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Shengping gas field, northerm Songliao Basin[J]. Geology in China, 2007,34(3):528-535.

- [5] 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:自然科学版,2007,37(6):1251-1258.
 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):1251-1258.
- [6] 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 Jinlong, LUO Jinglan, HE Faqi, et al. Permian volcanic reservoir in the Tahe region [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004,31(4):44-47.
- [7] 李涤,何登发,樊春,等. 淮噶尔盆地克拉美丽气田石炭系玄武岩的地球化学特征及构造意义[J]. 岩石学报,2012,28(3):981-992.
 LI Di, HE Dengfa, FAN Chun, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of Carboniferous basalt in the Karamaili gas field of Junggar Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012,28(3):981-992.
- [8] 赵霞,贾承造,张光亚,等. 准噶尔盆地陆东—五彩湾 地区石炭系中、基性火山岩地球化学及其形成环境
 [J]. 地学前缘,2008,15(2):272-279.
 ZHAO Xia, JIA Chengzao, ZHANG Guangya, et al. Geochemistry and tectonic settings of Carboniferous intermediate-basic volcanicrocks in Ludong-Wucaiwan, Junggar basin[J]. Earth Science Frontiers, 2008,15(2):272-
- 279.
 [9] 毛治国,邹才能,朱如凯,等.准噶尔盆地石炭纪火山 岩岩石地球化学特征及其构造环境意义[J].岩石学 报,2010,26(1):207-216.
 MAO Zhiguo, ZOU Caineng, ZHU Rukai, et al. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks in Junggar Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010,26(1):207-216.
- [10] 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-

[19]

540.

• 8 •

HOU Lianhua, ZOU Caineng, LIU Lei, et al. Characters and distribution patterns of effective reservoirs in the Carboniferous volcanic weathering crust in northern Xinjiang [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(4):533-540.

[11] 邹才能,侯连华,陶士振,等.新疆北部石炭系大型火山岩风化体结构与地层油气成藏机制[J].中国科学:地球科学,2011,41(11):1613-1626.

ZOU Caineng, HOU Lianhua, TAO Shizhen, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism and structure of large-scale volcanic weathering crust of the Carboniferous in northern Xinjiang, China [J]. Sci China Earth Sci, 2011,41(11):1613-1626.

[12] 熊益学,郗爱华,冉启泉,等.准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩储集空间特征及分布[J].高校地质学报,2012,18(1):164-173.

XIONG Yixue, XI Aihua, RAN Qiquan, et al. Characteristics and distribution of reservoir spaces of the Carboniferous volcanic rocks in Dixi area, Junggar Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2012,18 (1):164-173.

[13] 王乃军,罗静兰,郭永峰,等.黄骅坳陷歧口凹陷新生 界火山岩孔隙类型、孔隙结构特征及分类评价[J]. 现代地质,2013,27(1):200-207.

> WANG Naijun, LUO Jinglan, GUO Yongfeng, et al. Characteristics of pore types, structures and classification of volcanic rocks in Cenozoic of Qikou sag, Huanghua depression [J]. Geoscience, 2013, 27 (1): 200-207.

 [14] 庞彦明,章凤奇,邱红枫,等.酸性火山岩储层微观孔 隙结构及物性参数特征[J].石油学报,2007,28(6): 72-76.

PANG Yanming, ZHANG Fengqi, QIU Hongfeng, et al. Characteristics of microscopic pore structure and physical property parameter in acidic volcanic reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(6):72-76.

[15] 王京红,靳久强,朱如凯,等.新疆北部石炭系火山岩 风化壳有效储层特征及分布规律[J].石油学报, 2011,32(5):757-766.

> WANG Jinghong, JIN Jiuqiang, ZHU Rukai, et al. Diagenesis types and features of volcanic rocks and its impact on porosity and permeability in Yingcheng forma

tion, Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011,32(5):757-766.

- [16] 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):1251-1258.
 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):1251-1258.
- [17] 李军,薛培华,张爱卿,等. 准噶尔盆地西北缘中段石炭系火山岩油藏储层特征及其主控因素[J]. 石油学报,2008,29(3):329-335.

LI Jun, XUE Peihua, ZHANG Aiqing, et al. Characteristics and controlling factors of Carboniferous volcanic reservoir in the middle section of the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008,29 (3):329-335.

[18] 王乃军,罗静兰,刘华清,等. 歧口凹陷沙河街组火山 岩成岩作用及对储集性能的控制[J]. 地球学报, 2012,33(3):360-370.
WANG Naijun, LUO Jinglan, LIU Huaqing, et al. Diagenesis of volcanic rocks in Shahejie Formation of Qikou

depression and its control over reservoir performance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012,33(3):360-370. 郑曼,李建忠,王立武,等. 松辽盆地长岭断陷营城组

火山岩储集空间特征及演化[J]. 岩石学报,2010,26 (1):135-141. ZHENG Man, LI Jianzhong, WANG Liwu, et al. Reservoir space characteristics and evolution of the volcanic rocks in Yingcheng Formation of Changling fault depression, Songliao Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010,26(1):135-141.

[20] 罗静兰,侯连华,蒋宜勤,等.陆东地区火成岩形成时 代与构造背景及火山岩储层成因[J].石油学报, 2012,33(3):351-360.
LUO Jinglan, HOU Lianhua, JIANG Yiqin, et al. Chronology and tectonic setting of igneous and origin of volcanic reservoirs in Ludong area, eastern Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(3):351-360. (编辑 修荣荣)