

松辽盆地北部深层火山岩储层特征*

刘万洙¹, 王璞珺¹, 门广田², 边伟华, 尹秀珍¹, 许利群²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061; 2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712)

摘要: 松辽盆地北部深层的火山岩储层主要分布于徐家围子断陷的火石岭组和营城组, 其爆发相和溢流相火山岩储集性能较好, 孔隙度一般为 6.3%~10.8%, 渗透率为 $0.55 \times 10^{-3} \sim 122.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。火山岩的储集性能主要受构造作用、溶蚀作用及流体活动的影响。松辽盆地火山-断陷期的构造活动致使火山岩产生大量次生裂缝, 储集性能提高; 淋滤作用主要改造爆发相凝灰质熔岩, 使其变得极为疏松, 孔隙度提高到 15% 以上。流体活动对火山岩储集性的改造具有双重作用: 一方面新矿物的胶结和充填使得储集性能下降; 另一方面, 蚀变和溶解作用又可使孔隙度增加。因此, 应分期次进行研究。

关键词: 火山岩; 储层; 岩相; 影响因素; 松辽盆地

第一作者简介: 刘万洙, 男, 52 岁, 副教授, 石油与天然气地质勘查、岩石学

中图分类号: TE112.222 文献标识码: A

松辽盆地分为 3 个成盆期^[1], 其火山-断陷成盆期构造活动强烈^[2~3], 形成了大量的火山岩-沉积岩组合, 其孔隙度和渗透率受埋深影响甚微, 所以成为本区深层油气的主要储集岩。

1 分布及组合

1.1 分布

松辽盆地北部深层火山岩储层主要分布于徐家围子断陷上侏罗统火石岭组(145.6~157.19 Ma)和下白垩统营城组(113.19~130 Ma)。火石岭组以中基性火山岩为主, 也有少量酸性岩, 包括安山岩、粗面岩、粗面安山岩、玄武质安山岩、玄武质粗面安山岩、流纹岩。营城组以酸性和中酸性岩为主, 也有基性岩发育, 主要包括流纹岩、英安岩、安山岩、粗面岩、粗面安山岩、玄武粗面安山岩、玄武安山岩以及碧玄岩^[4]。火石岭组和营城组火山岩稀土元素含量较高, 富集 K, Ba, Th, U, Sr 等大离子亲石元素, 而亏损 Nb, Ta, Ti, P, Zr, Hf, Y 等高场强元素, 轻稀土元素(La, Ce, Pr, Nd, Sm)相对富集, 重稀土元素(Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)相对亏损, 轻稀土元素之间分异度大, 重稀土元素之间分异度小, 铕(Eu)负异常普遍存在(表 1), 反映成岩环境与俯冲作用的构造背景有关。

表 1 松辽盆地北部徐家围子断陷储层火山岩地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of volcanic reservoir in Xujiaweizi fault-depression, northern Songliao basin

地化指标	营城组	火石岭组
Rb/Sr	0.02 ~ 1.75	0.02 ~ 0.43
Sm/Nd	0.18 ~ 0.26	0.16 ~ 0.22
Th/U	2.26 ~ 14.65	0.86 ~ 77.01
Nb/Y	0.57 ~ 1.85	0.63 ~ 1.43
δEu	0.01 ~ 0.70	0.20 ~ 0.90
(La/Sm)N	2.90 ~ 5.60	2.90 ~ 4.90
(Gd/Yb)N	1.20 ~ 1.90	1.20 ~ 2.00
(La/Yb)N	5.70 ~ 15.00	9.20 ~ 19.50
Ce/Yb	18.00 ~ 43.00	19.00 ~ 45.00
$\Sigma\text{REE}/10^{-6}$	125.00 ~ 317.00	51.00 ~ 240.00

火石岭组、营城组火山岩与上覆登娄库组-嫩江组的展布有着显著差别, 不受现今盆地的 NNE 向构造的控制。

1.2 组合

根据已识别的火山机构^[5~6], 按产状可分为 3 种形态组合。

1.2.1 层状组合

以 SS1 井火山机构为代表。层状分布, 岩相侧向变化较大, 但彼此间是基本连续的。岩性有玄武岩、安山玄武岩、粗面岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩。岩相以爆发相为主, 包括空落亚相、热基浪亚相、热碎屑流亚相、以及火山-沉积相。同时有溢流相熔岩与之互层。这些相在垂直方向上具不

* 国家自然科学基金资助课题(NSFC)49894190-12 号“大庆目标区火山喷发岩储层建模机制分析及数学表达”

收稿日期: 2002-04-16

稳定性,变化较快,水平方向上时有突变,但总体显示层状特征。

1.2.2 盾状组合

该类火山岩的岩性、岩相类型比较单一。火山机构范围小,一般延伸 1~3.5 km,高 100~250 m,典型代表为 Shs201 井火山机构。该火山机构的岩性主要为流纹岩和流纹质凝灰熔岩。前者属于溢流相,后者为溢流相与爆发相的热碎屑流亚相的过渡类型。另外,在该火山机构组合中,还有属于热基浪亚相的火山碎屑岩和属于火山通道相的隐爆角砾岩。该火山机构的储层物性变化很大,物性最好的是溢流相上部亚相的气孔流纹岩。另外,火山机构中每一个喷发旋回顶部往往发育有规模不等的风化壳。

1.2.3 锥状组合

以 W903 井火山机构为代表,此类组合发育于断裂边缘。岩性为火山集块岩、火山角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩、安山岩、流纹岩等。岩相类型有溢流相和爆发相的空落亚相、热基浪亚相和热碎屑流亚相。其中,空落亚相极为发育,是近火山口相的标志。溢流相与爆发相在平面上和纵向上相间分布。这类火山机构的火山岩储层物性总体较好,有利于油气聚集。主要储集相带是爆发相,尤其是爆发相中每个冷却单元之间的松散层。

2 储集空间

2.1 物性

本区火山岩岩性与物性关系不大,如凝灰岩的孔隙度为 0.7%~8.8%,流纹岩的为 0.8%~9.8%,安山岩的为 0.2%~8.6%。火山岩储层物性主要受火山岩岩相及其在火山机构所处位置的影响(表 2)。一般地讲,次火山岩相的孔隙度较小,如 SS3 井二长玢岩孔隙度为 0.3%~0.8%;溢流相上部亚相流纹岩的孔隙度较大为 3%~8.6%,如 FS701 井溢流相流纹岩的孔隙度 8.4%。空落相凝灰岩孔隙度一般也较大。层状火山机构的物性要好于盾状火山机构,含多个火山岩岩相的火山机构的储层物性好于单一火山岩岩相。

2.2 类型

火山岩储层空间类型主要为孔隙与裂缝型组合或纯裂缝型储层及基质溶孔与裂缝组合、斑晶溶孔与裂缝组合等。但对于具体的火山岩储层,它们的储集空间可能是很不一样的。例如,SS201 井

表 2 火山岩岩性、岩相与物性的关系
Table 2 Relationship of lithology, lithofacies and physical properties of volcanic rocks

井号	岩性	亚相	深度/m	层位	平均孔隙度/%
Fs701	凝灰岩	爆发相上部	3 574.41	营城组 II 段	1.58
Fs701	凝灰岩	爆发相中部	3 333.60	营城组 II 段	2.07
Fs701	火山碎屑岩	爆发相下部	2 970.00	营城组 II 段	11.10
Fs701	流纹岩	喷溢相上部	2 982.60	营城组 I 段	0.70
Fs701	流纹岩	喷溢相中部	3 108.30	营城组 I 段	6.00
Shs3	二长斑岩	次火山岩亚相	3 328.99	营城组 III 段	0.50
Zhs6	安山岩	喷溢相中部	3 528.52	营城组 III 段	0.30
Zhs6	流纹岩	溢流相上部	3 594.39	营城组 I 段	0.60
Shs201	流纹岩	溢流相上部	3 329.96	营城组 I 段	7.10
Shs201	流纹岩	溢流相上部	3 329.96	营城组 I 段	8.40
Shs201	凝灰岩	爆发相中部	2 966.89	营城组 I 段	8.60
Shs201	凝灰岩	爆发相中部	2 965.89	营城组 I 段	9.30
Sos1	凝灰岩	爆发相中部	2 970.00	营城组 I 段	5.10
Sos1	火山角砾岩	火山颈亚相	3 022.08	营城组 I 段	6.20
Sos1	凝灰岩	爆发相中部	3 019.38	营城组 I 段	5.30
Sos1	玄武岩	喷溢相中部	2 982.60	火石岭组	8.80
Sos1	流纹岩	喷溢相中部	3 108.30	火石岭组	0.80
Sos2	玄武岩	喷溢相中部	3 286.00	营城组 III 段	8.50
Sos2	角闪粗面岩	喷溢相中部	3 203.00	营城组 III 段	8.20

火山岩储层空间是由原生气孔或杏仁体内孔与裂缝组合而成的孔隙结构类型。火山岩中存在大小不等的气孔都是互不连通独立存在的,由于构造运动使火山岩产生裂缝,这些裂缝将独立存在的原生气孔互相连通起来,构成了该储层的主要储集空间。而 W903 井火山岩为另外一种孔隙结构组合特征,由基质溶孔与裂缝组合而成。SS1 井火山岩储层的孔隙结构有两种:一是安山岩内的单一裂缝、平行裂缝、交错裂缝和不规则网状裂缝等构成的缝-缝组合,二是由斑晶溶蚀孔与裂缝构成的孔-缝结构,其成因与基质溶孔与裂缝组合而成的孔隙结构相同。火成岩储层的孔隙空间和孔隙组合特征具有自身的特性,气孔直径大小不等,小为几个微米,大到数十厘米,形态不规则,裂缝宽窄不一,经过成岩作用改造后有些连通,有些则不连通。

2.3 影响因素

2.3.1 构造作用

构造运动使得非常致密的火山岩产生了许多裂缝。火山岩越致密、脆性越强,构造裂缝越容易形成和保存。这些裂缝不但使孤立的原生气孔得以连通,而且还增大了火山岩的储集空间。如 SS1 井 3 500~3 600 m 井段为溢流相下部亚相的含同

生角砾的细晶流纹岩,其原生孔隙少见,但由于其脆性强、火山岩裂缝较发育,因而在后期构造作用下成为良好储层(图1)。多次的构造运动导致了裂缝的多期性,常常可以见到早期裂缝被晚期裂缝所切割。火山岩的裂缝多期性,为油气的运移及储集提供了良好的条件。值得指出的是,从理论上讲构造活动还可能破坏原有油气藏。但对于松辽盆地而言,构造裂缝形成的主要时期也是本区的主要成藏期,均为新生代中期(40~20 Ma),两者同步。所以,构造活动总的来说是有利于本区火山岩储层和火山岩油气藏形成的。

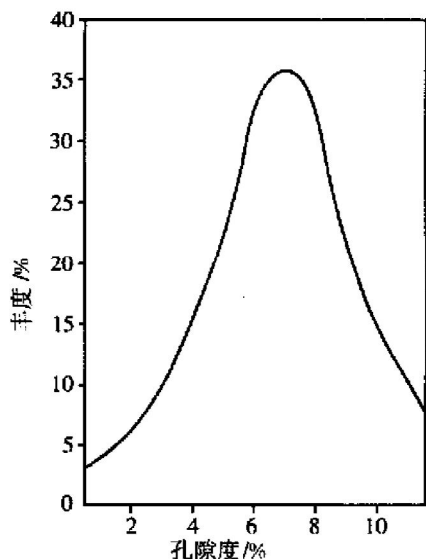


图1 溢流相孔隙度频度分布

Fig. 1 Frequency distribution of porosity
in overflow-facies volcanic rock

2.3.2 溶蚀作用

所有火山岩几乎都要经历不同程度的风化淋滤作用。因为火山岩起初是形成于地表环境的。只是在后期的差异性升降运动下才沉于地下,成为盆地充填序列的组成部分。对多数火山岩来讲,孔隙发育程度与淋滤作用密切相关,淋滤作用不但可以使岩石破碎,也可以使岩石的化学成分发生显著的变化,如发生矿物的溶解、氧化、水化和碳酸盐化等。溶解作用可使岩石中的易溶物质被带走,使岩石内孔隙增大,增强岩石的渗透性,风化带的这种溶蚀作用对火山岩储层的最重要影响就是形成风化壳型储层,它们往往发育于火山岩体的顶部。如SS2井营城组顶部的紫色安山质熔结凝灰岩,由于风化淋滤作用使得原本致密的

爆发相凝灰质熔岩变得极为疏松,在岩芯中呈豆腐渣状,其孔隙度大于15%,渗透性好。因此,淋滤作用不仅是影响火山岩储集性能的一个重要因素,而且是火山岩中普遍存在的地质现象。

2.3.3 流体活动

火山活动和构造运动以及排烃作用等都会引起大规模的热液活动。流体对火山岩的直接影响会引起物质交换,使火山岩体处于开放体系。热液活动的直接后果是导致原有矿物发生蚀变、溶蚀,同时形成的新矿物导致次生胶结和充填作用发生。蚀变和溶蚀使火山岩孔隙度增加,胶结和充填使孔隙度、尤其是渗透率降低。所以,热液活动对于火山岩储层的综合效应因时因地而异,更取决于局部因素。在火山岩中的纯粹的充填作用对火山岩的储集性具有极大的破坏,充填在气孔中的自生矿物可以部分充填孔隙,也可以全部堵塞孔隙,因此大大降低了储层的储集性能。充填在裂缝中的矿物具有更大的破坏性,它不但占据一部分孔隙空间,更重要的是大大降低了储层的渗透性。镜下观察发现,大多数样品中被矿物充填的孔隙要比剩余的孔隙多。矿物充填还具有分期性,也就是说,所充填的矿物可能是一次充填的,也可能是多次充填的结果。例如,SS1井3123.4 m营城组流纹岩气孔中充填的石英,其包裹体均一温度为96~105℃,因此可以认为是一次充填的。而SS2井3187.9 m营城组安山岩裂缝的充填物为两期,第一期为石英,形成温度为92~99℃,第二期为方解石,形成温度为115~129℃。总而言之,流体活动导致的溶解、蚀变、胶结、充填作用在火山岩中是十分普遍的,这种作用在火山岩被掩埋后几乎一直发生,它们对火山岩储集性能的影响是十分复杂的。

3 结论

(1) 松辽盆地北部火山岩主要发育于徐家围子断陷的上侏罗统火石岭组和下白垩统营城组,爆发相和溢流相火山岩储集性能较好。

(2) 按火山机构轮廓特征,本区火山岩分为层状火山岩组合、盾状火山岩组合和锥状火山岩组合。

(3) 影响火山岩储层储集空间形成和演化的主要因素有构造作用、风化淋滤导致的溶蚀作用和流体活动导致的蚀变和胶结与充填作用。

参 考 文 献

- 1 王璞珺, 刘万洙, 单玄龙, 等. 事件沉积: 导论·实例·应用[M]. 长春: 吉林科技出版社, 2001
- 2 Wang Pujun, Liu Wanzhu, Wang Shuxue, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, 91(2): 331~ 340
- 3 Wang Pujun, Ren Yanguang, Shan Xuanlong, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation[J]. Geological Journal, 2002, 37(2): 1~ 19
- 4 王璞珺, 王树学, 曲永宝, 等. 松辽盆地火山事件研究——营城组火山岩特征[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(专辑): 55~ 61
- 5 陈建文, 王德发, 张晓东, 等. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩相和火山机构分析图[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 371~ 379
- 6 李长山, 陈建文, 游俊, 等. 火山岩储层建模初探[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 381~ 389

CHARACTERISTICS OF DEEP VOLCANIC RESERVOIRS IN NORTHERN SONGLIAO BASIN

Liu Wanzhu¹, Wang Pujun¹, Men Guangtian², Bian Weihua¹, Yin Xiuzhen¹, Xu Liquan²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin;

2. Daqing Institute of Exploration & Development, Daqing, Heilongjiang)

Abstract: Deep volcanic reservoirs of Songliao basin have mainly been found in Huoshiling and Yingcheng Fms. . The eruptive and overflow facies have better reservoir capacity , commonly with the porosity of 6.3%~ 10.8% and permeability of about $0.55 \times 10^{-3} \sim 122.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The reservoir capacity of volcanic rocks has largely been affected by tectonism, solution and fluid activity. There are lots of fractures in volcanic rock due to tectonic activity during the volcanic– fault– depression period in Songliao basin, which would enhance the reservoir capacity. The eruptive tuffaceous volcanic has been mainly changed by leaching, and become loose and porous, with the porosity to be increased to over 15%. Fluid flow has double effects on reservoir capacity of volcanic rock, reservoir capacity would be reduced by cementation and filling of new minerals, but on the other hand, porosity would be increased by alteration and solution . These should, therefore, be studied separately by stages and periods.

Key words: volcanic rock; reservoir; volcanic facies; affecting factors; Songliao basin