

松辽盆地昌德地区营城组火成岩气藏储层特征及其控制因素

谢庆宾^{1,2)},高霞³⁾,夏秋君⁴⁾,舒萍⁵⁾,杨双玲⁵⁾,徐岩⁵⁾,李娜²⁾

1) 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京,102249; 2) 中国石油大学(北京)地球科学学院,北京,102249; 3) 中国石油勘探开发研究院,北京,100083; 4) 中国石油冀东油田分公司,河北唐山,063000; 5) 中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,黑龙江大庆,163712

内容提要:松辽盆地昌德地区火山岩储层以酸性岩为主,主要岩石类型为熔结凝灰岩和凝灰岩,与国内其他含油气盆地的火山岩储层明显不同。宏观上岩性较致密,岩心观察仅见构造裂缝和溶蚀孔,局部见溶蚀洞,显微镜下观察储集空间类型多样,发育粒内溶孔、晶内溶孔、晶间微孔、构造微裂缝、炸裂缝和收缩缝等。火山岩厚度普遍较薄,其中芳深9井区火山岩厚度最大,最厚仅为75m。从岩相类型看,芳深9井附近为爆发相,其他地区为溢流相。研究区火山岩为低孔低渗储层,岩性和岩相与物性关系密切,同时控制着原生孔隙的形成。后期的成岩改造,包括构造活动、溶蚀作用等决定了次生孔隙的发育程度,构造运动产生的裂缝是该区储层得以改善的主要因素,而后期充填作用破坏了储层的储集性能。火山口附近爆发相与溢流相的叠合区是天然气勘探的有利目标。

关键词:松辽盆地;昌德地区;营城组;火山岩储层;储集性

目前已在20多个国家300多个盆地或区块中发现了以火山岩作为储层的油气藏类型(张子枢,1994),如阿塞拜疆的穆拉德汉雷油气藏、日本新泻盆地Kurosaka气藏(Kawamoto,2001)、印度尼西亚Jawa盆地Jatibarang油气藏(Benyamin,2007)、澳大利亚Browes盆地Scott Reef油气藏(Dutkiewicz et al.,2004)、阿根廷Neuquen盆地Lapa油气藏(Sruoga et al.,2007)、墨西哥富贝罗等典型的大型火山岩油气藏。我国自20世纪50年代以来在许多含油气盆地中发现了火山岩油气藏,如辽河盆地东部凹陷(邱隆伟等,2003)、准噶尔盆地五彩湾凹陷、塔里木盆地塔河地区(杨金龙等,2004)、三塘湖盆地(谢庆宾等,2002)、黄骅拗陷(马乾等,2000)、苏北盆地闵北地区(冀国盛等,2002)等。这些火山岩油气藏通常以中基性火山岩为主要储层,如玄武岩、安山岩等,辽河东部凹陷还发现了碱性火山岩。20世纪80年代末期在松辽盆地昌德地区下白垩统营城组火山岩中发现了昌德气田,该气田火山岩储层岩性以流纹质凝灰岩、熔结凝灰岩等酸性

火山岩为主,与国内其他以基性火山岩为主的油气藏有所不同(赵海玲等,2004)。因此,深入开展这类火山岩气藏储层特征的研究,对丰富火山岩储层的理论研究和指导火山岩油气勘探具有重要意义。本文以钻井岩心资料为基础,在前人研究的基础上,对营城组火山岩储层特征进行全面而系统的总结,探讨储层形成的控制因素,为该地区的下一步天然气勘探与开发提供理论基础。

1 地质概况

昌德气田区域构造隶属于松辽盆地北部安达肇州背斜带中段宋芳屯构造和徐家围子断陷带中部西翼斜坡带上(如图1)。松辽盆地昌德地区在白垩系营城组发育火成岩气藏,目前工区内仅有深探井26口,多口井在营城组火成岩中获工业气流,在芳深9区块,探明天然气地质储量为 $65.18 \times 10^8 \text{ m}^3$,含气面积 13.6 km^2 。储层主要岩性为流纹质晶屑凝灰岩。其下伏地层下白垩统沙河子组发育灰黑色泥岩夹煤系地层,是研究区的主要烃源岩。区域上营城

注:本文为国家重点基础研究发展计划(973计划)(编号:2009CB219307)火山岩油气藏的形成机制与分布规律项目资助的成果。

收稿日期:2011-08-30;改回日期:2012-04-15;责任编辑:郝梓国,黄敏。

作者简介:谢庆宾,男,1966年生。博士,副教授,矿物学、岩石学、矿床学专业。通讯地址:北京市昌平区府学路18号中国石油大学地球科学学院。办公电话:010-89733291。Email:xiqingbin@cup.edu.cn。

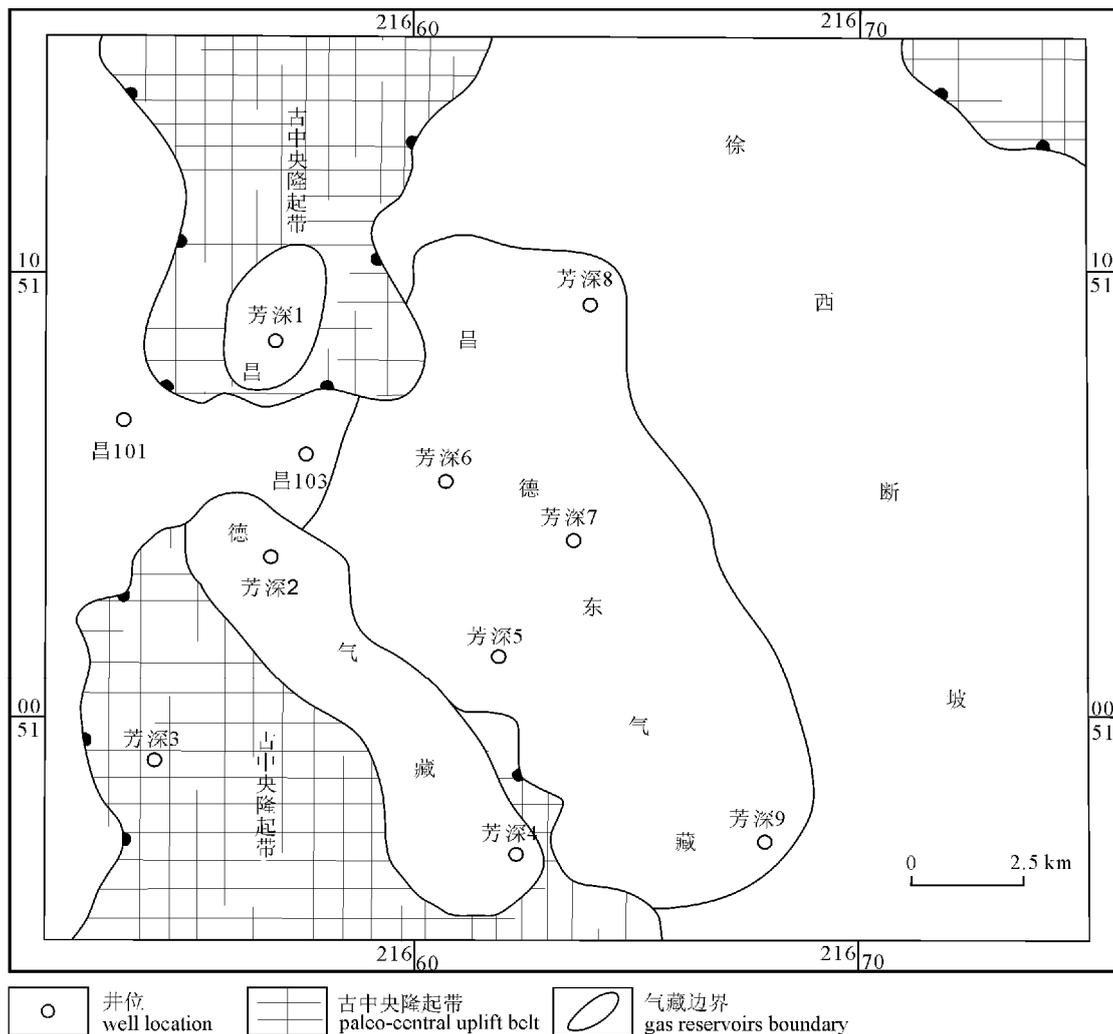


图1 松辽盆地昌德气田地理位置图

Fig. 1 Location of the Changde gas field, Songliao Basin

组自下而上可划分为4段,总体上为两套火山岩、两套碎屑岩,昌德地区受徐西断裂的控制,缺失营二段和营三段。

2 火山岩储层岩性与岩相特征

2.1 储层岩石类型及特征

本区营城组火山岩属火山碎屑岩类,可以分为熔结火山碎屑岩和火山碎屑岩两大类。这两大类火山岩与熔浆的成分、性质以及火山作用方式有着直接关系,无论在成因、产状以及岩石的结构、构造等方面,它们都既有联系,又存在差别。

从岩心样品分析的化学成分来看,含量最多的是 SiO_2 , 平均含量为 72.6%, 其次是 Al_2O_3 , 平均含量为 14.36%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 平均含量为 7.13%, Fe_2O_3 平均含量为 2.084%, CaO 平均含量为 1.504%, MgO 平均含量为 0.53% (表1)。由此可

见该区的火山岩应属酸性岩类,依据邱家骧的硅-碱法对研究区火山岩进行化学分类也表明该区的火山岩为酸性岩类。通过大量的薄片分析,火山碎屑岩可以分为2大类8小类,各类火山碎屑岩特征见表2。2大类即为熔结火山碎屑岩类和普通火山碎屑岩类,常见的岩石类型分别为熔结凝灰岩和凝灰岩,前者为熔结凝灰结构和假流纹构造,后者为凝灰结构和块状构造。

2.2 火山岩岩相特征

通过构造、地震、岩性的分析,认为该地区继承了徐家围子的火山喷发模式,即以中心式喷发为主。其明显的特征为:一系列火山岩体沿宋西断裂成串分布,该工区内只有个别火山口沿伴生断裂零星分布;以爆发作用为主,主要岩性为熔结火山碎屑岩、火山碎屑岩及沉火山碎屑岩,其次为喷出岩类;地震剖面上可见明显的火山口,其内部呈反射杂乱的丘

状结构。营城组火山岩相类型主要有 2 种,即溢流相和爆发相,其中以爆发相分布广泛,溢流相范围较小。

爆发相形成于火山作用的早期,本区发育 3 种亚相类型,即热碎屑流亚相、热基浪亚相和空落亚相。溢流相形成于火山喷发旋回的中期,一般发育下部、中部和上部亚相,本区少见典型的亚相类型分

布,所以多未细分(表 3)。

热碎屑流亚相主要构成岩性为含晶屑、玻屑、浆屑、岩屑的熔结凝灰岩,具熔结凝灰结构,块状,基质支撑,受熔浆冷凝胶结与压实共同作用而形成,多见于爆发相上部。原生气孔发育的浆屑熔结凝灰岩是热碎屑流亚相的代表性岩石。

表 1 松辽盆地昌德地区营城组火山岩化学成分特征简表

Table 1 Chemical compositions of volcanic rock in Yingcheng Formation of Changde Area, Songliao Basin

样品号	深度 (m)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	灼减 (%)	TOL (%)
fs701-1	3579.21	74.36	13.36	0.63	1.56	0.2	0.03	0.06	1.05	0.6	3.47	3.51	0.7	99.5
fs701-2	3601.05	74.6	14.8	0.18	0.68	0.29	0.03	0.02	1.23	0.19	3.34	4.34	0.42	100
fs701-3	3573.94	72.68	13.07		2.85	0.55	0.22	0.03	0.34	0.52	0.05	5.35	2.49	99.6
fs9	3582.06	72.68	12.16	1.35	1.61	0.22	0.03	0.1	1.75	0.39	3.27	3.14	3.31	100
fs9-1	3660.98	74.31	13.06	3.29					0.31	0.19	4.09	4.74		
fs901	3584.72	75.19	8.61	2.69					8.87	1.03	2.24	1.4		
fs901	3585.22	68.89	18.75	3.17					0.41	0.67	6.51	1.57		
fs901	3585.55	71.6	16.67	2.2					0.37	0.46	6.22	2.44		
fs701	3583.06	75.19	12.99	3.32					0.41	0.23	4.04	3.85		
fs9	3571.63	67	20.13	4.01					0.3	1.02	4.61	2.95		

表 2 松辽盆地昌德地区营城组火山碎屑岩岩性特征简表

Table 2 Lithologic characteristics of pyroclastic in Yingcheng Formation of Changde Area, Songliao Basin

岩石类型		颜色	主要火山碎屑成分	结构	构造
熔结火山碎屑岩	熔结凝灰岩	白色、绿色、紫色、灰绿色、杂色	玻屑及石英和长石晶屑、火山尘	熔结凝灰结构	假流纹构造 块状构造
			石英和长石晶屑、浆屑、火山尘	熔结凝灰结构	假流纹构造 块状构造
			石英和长石晶屑、岩屑、火山尘	熔结凝灰结构	假流纹构造 块状构造
			长石和石英晶屑、火山尘	熔结凝灰结构	假流纹构造 块状构造
普通火山碎屑岩	凝灰岩	灰白色、灰绿色	晶屑为长石和石英、火山角砾、火山尘	凝灰结构	块状构造 平行构造
			晶屑主要为长石和石英,含有塑变的浆屑、火山尘	凝灰结构	块状构造 定向构造
			晶屑主要为长石和石英,含有流纹岩、安山岩等岩屑、火山尘	凝灰结构	块状构造 斑杂构造
			晶屑成分为石英和正长石、火山尘	凝灰结构	假流纹构造和杏仁构造

表 3 松辽盆地昌德地区营城组火山岩相岩性特征表

Table 3 Lithological characteristics of the volcanic facies in Yingcheng Formation of Changde Area, Songliao Basin

相	亚相	成岩方式	代表岩石类型	结构
爆发相	热碎屑流	熔浆冷凝胶结为主,辅以压实作用	浆屑、晶屑熔结凝灰岩	熔结凝灰结构
	热基浪	压实为主	流纹质晶屑凝灰岩	晶屑凝灰结构
	空落	压实为主	以含角砾晶屑-岩屑凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩为主	角砾结构 凝灰结构
溢流相	未细分	熔浆冷凝固结	中、基性及酸性喷发岩类	球粒结构 斑状结构 角砾结构

热基浪亚相主要以流纹质晶屑凝灰岩为主,火山碎屑结构以晶屑凝灰结构为主,属重力沉积,是压实成岩作用的产物。多形成于爆发相的中下部,多与空落相互层。

空落亚相以含角砾的晶屑凝灰岩为代表性岩类,经压实作用而形成的,多位于爆发相下部,有时也呈夹层出现。

溢流相下部和中部亚相常具玻璃质、细晶或斑状结构,流纹构造,岩石比较致密。溢流相上部亚相具球粒结构,气孔和杏仁构造,原生气孔比较发育,是储层物性较好的岩相带之一。

3 储集空间及孔隙结构特征

昌德地区火山岩类的油气储集岩主要为熔结

凝灰岩和普通凝灰岩,宏观上岩性较致密,岩心观察仅见构造裂缝和溶蚀孔,局部见溶蚀洞,显微镜下观察储集空间类型多样。孔隙划分为原生孔隙、次生孔隙和复合孔隙 3 种类型,按结构进一步划分为 9 种,孔隙以粒内溶孔、晶内熔孔、晶间微孔发育较多;裂缝划分为原生缝、次生缝和复合缝 3 种类型,按结构进一步划分为 9 种,以构造微裂缝、炸裂缝和收缩缝为主。火山岩储集空间类型划分结果如表 4 所示。

在各类孔隙中,原生孔隙所占比例较大,为 62.5%,其次为次生孔隙,为 35.71%,复合孔隙较少。在各类裂缝中以原生裂缝为主,占 65.64%,次生裂缝次之,占 31.82%,复合裂缝较少。

表 4 松辽盆地昌德地区营城组火山岩储集空间类型表

Table 4 Types of reservoir space of volcanic rocks in Yingcheng Formation of Changde Area, Songliao Basin

储集空间类型		主要岩石类型	识别标志	含气性	
孔	原生	晶内熔孔	晶屑熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩	圆形、椭圆形,多被熔浆充填	含气性差
		粒间孔	晶屑凝灰岩、岩屑-晶屑凝灰岩	形状不规则,发育于火山碎屑组分之间	含气性好
		微孔	各类火山岩	发育于熔岩基质微晶矿物之间或较细粒火山碎屑之间	含气性一般
	次生	粒间溶孔	火山碎屑岩	火山碎屑颗粒之间	含气性好
		粒内溶孔	各类火山岩	分布于颗粒的内部或边缘,形状不规则	含气性好
		基质内溶孔	各类火山岩	形状不规则,个体小,发育于熔岩基质中	含气性好
复合	粒间溶扩孔	各类火山岩	形状不规则,常与其他孔、缝相连通,单个孔隙较大	含气性好	
缝	原生	收缩缝	各类火山岩	弯曲,较少切穿颗粒	含气性好
		粒内缝	普通凝灰岩、沉火山碎屑岩	无方向性,一般向颗粒边缘呈放射状	含气性一般
		炸裂缝	各种火山岩	裂缝不定向、弯曲形	含气性一般
	次生	粒缘缝	含角砾火山碎屑岩	多贴近火山角砾边缘	含气性好
		构造缝	各类火山岩	常平行成组出现,具方向性,可几组交叉切割	含气性好
		缝合缝	普通凝灰岩、沉凝灰岩	呈锯齿状、缝合线形,延伸远	含气性中等
		溶蚀缝	各类火山岩	不具方向性,缝壁不规则	含气性好
复合	溶扩缝	各类火山岩	裂缝扩大,缝壁形状不规则	含气性好	

从储集空间组合来看,单纯的孔隙型和裂缝型较少,多为裂缝-孔隙型和孔隙-裂缝型的复合类型。其中裂缝-孔隙型占 30.43%,孔隙-裂缝型占 39.13%。通过压汞资料的分析可将孔喉分为 3 种类型。I 类:偏粗态。曲线凹向左下,有平台段发育,表明分选相对较好,峰值孔喉分布范围为 0.016~0.16 μm 。该类储层物性相对较好,平均渗透率为 $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为 9.80%,主要分布在岩屑-晶屑凝灰岩中。II 类:偏细态。曲线凹向左下,有平台段发育,向右向上靠拢,表明分选相对较好,歪度较细。峰值孔喉分布范围为 0.016~0.1 μm ,该类储层物性相对较差,平均渗透率为 $0.128 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为 5.10%,主要分布在晶屑熔结凝灰岩、岩屑-晶屑凝灰岩和岩屑砂岩中。III 类:细态。无平台段发育,表明分选极差,峰值孔喉分布范围为 0.025~0.063 μm 。该类储层物性很差,平均渗透率为 $0.015 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为 1.52%,主要分布在玻屑-晶屑熔结凝灰岩、晶屑熔结凝灰岩中。分析的样品中以偏细态为主,占 50%,偏粗态仅占 10%。

4 储层分布预测及评价

4.1 火山岩储层分布

综合利用钻井取心、录井、测井和地震资料,通过合成地震记录,进行层位标定,建立井震之间的关系,通过地震资料测井约束反演预测火山岩的分布范围。营城组火山岩主要分布在营一段,可划分为两期,分别位于营城组一段的第 1 小层和第 3 小层。第 1 小层的火山岩主要分布在昌 101 井—芳深 6 井区,第 3 小层火山岩主要分布在芳深 101 井—升深 5 井区和芳深 7 井—芳深 9 井区。火山岩厚度普遍较薄,其中芳深 9 井区火山岩厚度最大,最厚仅为 75m(图 2)。从岩相类型看,芳深 9 井附近为爆发相,其他区域为溢流相(图 3)。

4.2 火山岩储层物性特征

营一段火山岩岩心孔隙度(80 个样品)为 0.4%~8.8%,平均为 3.93%,岩心渗透率(68 个样品)为 $0.001 \times 10^{-3} \sim 0.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.039 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。从营一段火山岩储层常规物性分布的频率看,岩心孔隙度的分布范围较宽,但主要分布范围为 $\leq 5\%$,其次为 5%~6%;岩心渗透率的主要分布范围为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其次为 $\leq 0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属低孔低渗储层。

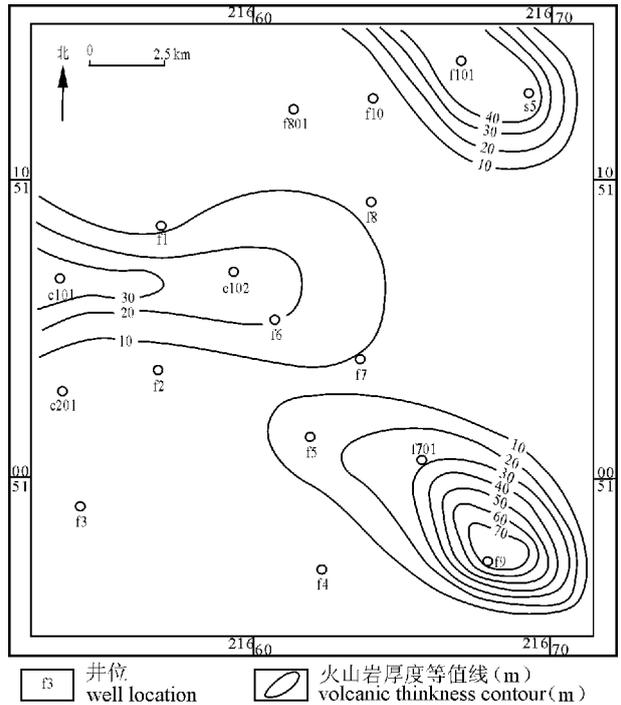


图 2 松辽盆地昌德地区火山岩厚度分布图
Fig. 2 Thickness distribution map of volcanic rocks in Changde Area, Songliao Basin

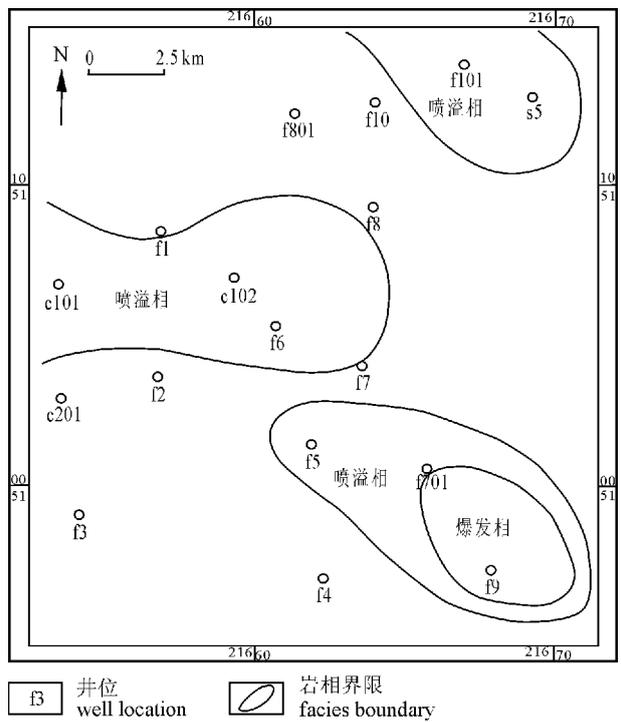


图 3 松辽盆地昌德地区火山岩岩相图
Fig. 3 Facies of volcanic rocks in Changde Area, Songliao Basin

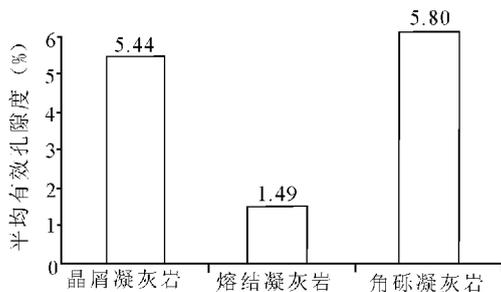


图4 松辽盆地昌德地区营一段火山岩不同岩性孔隙度统计

Fig. 4 Porosity statistics of different lithology of volcanic rocks in Yingyi Section Changde Area, Songliao Basin

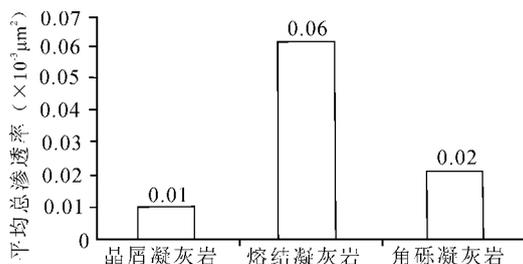


图5 松辽盆地昌德地区营一段火山岩不同岩性渗透率统计

Fig. 5 Penetration statistics of different lithology of volcanic rocks in Yingyi Section Changde Area, Songliao Basin

4.3 物性与火山岩类型之间的关系

营一段火山岩发育多种岩石类型,从火山岩厚度看,晶屑凝灰岩厚度最大,其次是熔结凝灰岩和酸性喷出岩,角砾凝灰岩厚度最小。从平均孔隙度看,晶屑凝灰岩和角砾凝灰岩相差不大,分别为5.44%和5.80%,熔结凝灰岩最小,平均孔隙度只有1.49%(图4)。这是因为熔结凝灰岩在成岩作用过程中被熔浆胶结,岩石非常致密,原生孔隙不发育。从平均渗透率看,渗透率均较低,但在这3种岩性中熔结凝灰岩平均渗透率最高,为 $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其次为角砾凝灰岩和晶屑凝灰岩,平均渗透率分别为 $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图5)。这是因为熔结凝灰岩在成岩作用过程中,以及熔浆胶结物在冷凝过程中会产生收缩缝,改善了储层的渗透性。工区火山岩共试气5口井5个层位,晶屑凝灰岩的试气产量为 $60682 \text{m}^3/\text{d}$ (fs701井);酸性喷出岩的试气产量为 $214 \text{m}^3/\text{d}$;熔结凝灰岩的试气产量为 $50938 \text{m}^3/\text{d}$ (fs9井)、 $2433 \text{m}^3/\text{d}$ (fs9-1井),平均为 $26686 \text{m}^3/\text{d}$;角砾凝灰岩的试气产量为 $28721 \text{m}^3/\text{d}$ 。综合采气指数、无阻流量等参数分析后认为:产能从大到小依次是晶屑凝灰岩、角砾凝灰岩、

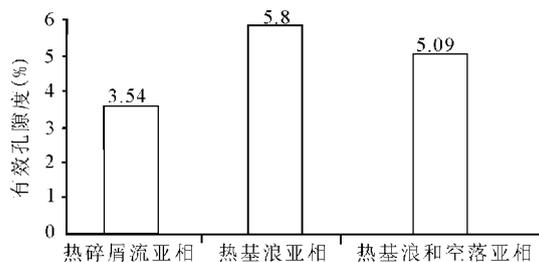


图6 松辽盆地昌德地区营一段不同亚相孔隙度统计
Fig. 6 Porosity statistics of different subfacies in Yingyi Section Changde Area, Songliao Basin

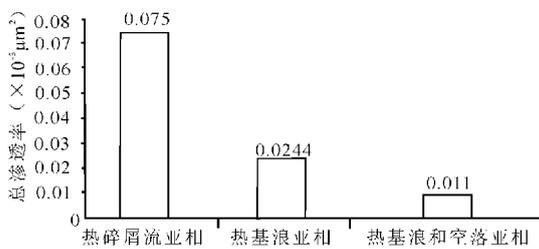


图7 松辽盆地昌德地区营一段不同亚相渗透率统计
Fig. 7 Penetration statistics of different subfacies in Yingyi Section Changde Area, Songliao Basin

熔结凝灰岩和酸性喷出岩。

4.4 物性与火山岩相之间的关系

营一段火山岩岩相包括爆发相、溢流相及火山沉积相3种。同样,根据单井岩相划分结果,分亚相统计了储层物性参数(图6,7)。营一段火山岩爆发相中见热基浪、热碎屑流和空落3个亚相,溢流相发育上部、中部和下部3个亚相,火山沉积相中包括含外碎屑再搬运火山碎屑沉积等亚相。由于取心的限制,重点对爆发相各亚相物性特征进行了统计分析,结果表明,3个亚相的孔隙度差别较小,平均孔隙度为3.54%~5.8%,平均渗透率以热碎屑流亚相最高,为 $0.075 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,热基浪和空落亚相渗透率较低。

营一段爆发相共试气3层,射开井段共计47.4m,压后产能变化范围为 $214 \sim 60682 \text{m}^3/\text{d}$,平均为 $50171 \text{m}^3/\text{d}$;喷溢相1层,射开井段共计23.6m,压后产能 $8066 \text{m}^3/\text{d}$;火山沉积相1层,射开井段共计7.0m,压后产能为 $182 \text{m}^3/\text{d}$ 。结合生产压差、米采气指数和无阻流量,分析认为:工区爆发相和溢流相产能较好,火山沉积相产能较差。

5 讨论

由于火山岩岩石类型复杂,孔隙类型丰富,储集空间受岩性、岩相、成岩作用、构造、风化等多种因素

的影响(张新荣等,2001;赵海玲等,2004;Luo J L et al.,1999),储层非均质性强,储层横向变化难以预测,如何充分利用现有的勘探成果,搞清影响储层发育的主控因素就显得十分重要。

5.1 原生孔隙成因及其对储层的影响

原生孔隙是伴随火山岩形成过程中产生的孔隙,岩浆冷凝过程中形成的气孔是最常见的原生孔隙,其次是岩浆冷凝结晶形成的晶间空隙和岩浆冷凝收缩形成的裂缝等。原生孔隙一般孤立存在,如果配合后期的裂缝,将大大改善火山岩储层的储集性能(蒙启安等,2002)。原生孔隙的形成与岩浆的性质有关,也就是与火山岩的岩性和岩相有关(冯子辉等,2008)。研究区火山岩主要发育爆发相和溢流相,爆发相中可见熔结凝灰岩和晶屑凝灰岩等,发育少量的晶间孔、气孔和收缩缝,加上后期的构造作用产生的裂缝和溶蚀作用,可以构成有效储层。溢流相主要形成于火山喷发中期,在研究区主要为流纹岩,岩熔流在冷凝过程中挥发分从顶、底部逸出,可在溢流相顶面和底面形成气孔层,这些气孔在冷凝收缩缝或构造裂缝的连通下可以构成有效储层,如果气孔后期被充填,储集性能则变差。炽热的火山喷发物质在地表首先经历的是冷凝收缩作用,体积发生收缩,使晶屑内部形成破裂缝(图 8a,8b)。这种破裂缝一方面增加储集空间,另一方面增加渗透性,但这种破裂缝往往发生在晶体内部,如果能与构造裂缝连通,将大大改善储层的储集性能。

5.2 次生孔隙成因及其对储层的影响

火山岩中的原生气孔一般情况下是孤立的,渗透性较差,但在后期构造作用、溶蚀作用等的改造下形成的次生孔隙对改善储集性能将起到关键作用。次生孔隙一方面增加孔隙空间,另一方面增强渗透性。昌德地区营城组储层在漫长的地史发展过程中经历了多次构造运动,从而生成了一系列的裂缝,这些裂缝和次生孔隙一起,不仅构成了储层的主要储集空间,而且形成了油气渗流的重要通道,构造缝主要是

与断层和褶皱有关的裂缝。裂缝的方向、分布和形成均与局部构造的形成和发展相关。构造裂缝在本区广泛发育,无论从宏观岩心上和微观薄片上都可见到,如图 8(c)~(d)所示,其特点是:裂缝开度较大;延伸较远;裂缝倾角较大。构造裂缝经过地下水的进一步溶蚀,可形成溶蚀缝。在观察的 5 口井火山岩岩心中,心长 46.69m,发育裂缝 17 条,构造缝密度为 2.078条/m,火成岩开启裂缝宽度的平均值为 0.1mm,最大值为 0.2mm,最小值为 0.05mm。构造裂缝全部位于熔结凝灰岩中(表 5)。在观察的 43 块火山岩薄片,其中 36 块见构造裂缝,见缝率达 83.7%,由此可见构造裂缝在该区较发育。

对于火山岩储层来说,溶解作用是形成次生孔隙最重要的成岩作用。但本区火山岩的溶解作用较弱,局部可见晶屑内溶孔、粒内溶孔、基质内溶孔和溶缝等(图 8e~8h)。

本区火山岩的充填作用十分常见,常见充填气孔和裂缝。充填物主要为石英、长石、方解石,还有少量的沸石和石膏矿物。气孔的充填往往分 2 期和 3 期(图 9),充填作用将使储层储集性能降低。

5.3 勘探实践

对已发现的天然气气藏的解剖发现,有效储层最发育的地区位于爆发相和溢流相的叠合部位,在这个区域火山岩厚度大、岩石类型复杂、相带多、相变快,如果是多期喷发,内部可发育多个岩相的顶、底界面,界面附近风化淋滤和溶蚀作用强,原生气孔和收缩缝也较发育,同时界面也为热液的通道,有利于溶蚀作用的发生。因此,爆发相和溢流相的叠合部位是储层最发育的地区,也是天然气勘探的有利地区。

6 结论

松辽盆地昌德地区营城组火山岩实际上应属火山碎屑岩类,可以分为熔结火山碎屑岩和火山碎屑岩两大类,主要岩石类型为熔结凝灰岩和凝灰岩,可见少量喷出岩类。火山岩岩相主要有溢流相和爆发

表 5 松辽盆地昌德地区营城组火成岩裂缝参数统计表

Table 5 Fracture parameter statistics of igneous rocks in Yingcheng Formation of Changde Area, Songliao Basin

岩性	岩心长度 (m)	裂缝长度 (cm)	线密度 (条/m)	面密度 (m/m ²)	总裂缝宽度(mm)			开启长度 (cm)	线密度 (条/m)	面密度 (m/m ²)	开启裂缝宽度(mm)		
					总最大	总最小	总平均				开最大	开最小	平均
熔结凝灰岩	8.18	121	2.078	1.644	0.24	0.05	0.1	121	2.078	1.644	0.2	0.05	0.1
晶屑凝灰岩	2.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
总计	10.83	121	0.657	1.241	0.24	0.05	0.1	121	0.657	1.241	0.2	0.05	0.1

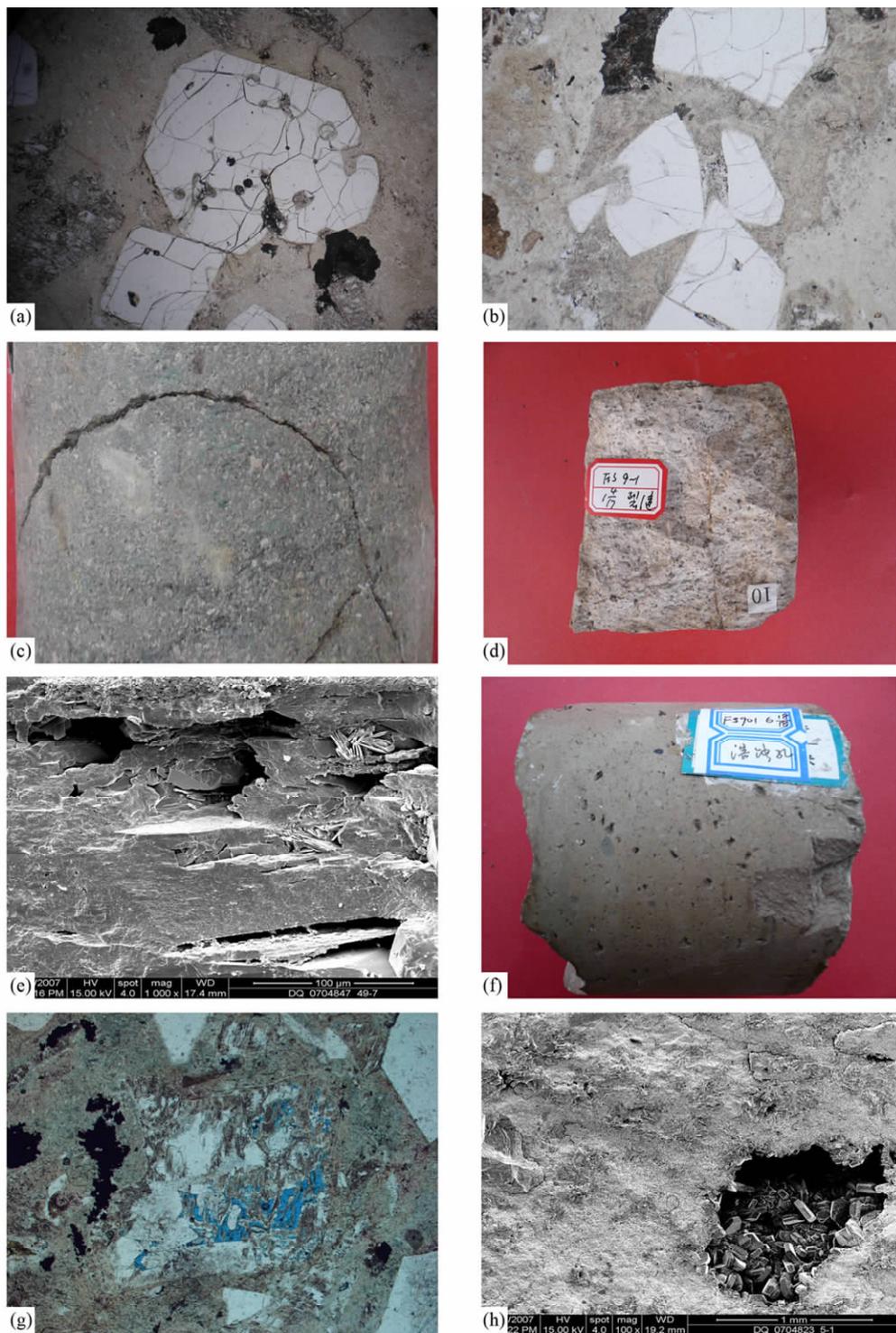


图8 松辽盆地昌德气田储集空间特征

Fig. 8 Reservoir space characteristics of Changde gas field, Songliao Basin

(a) 一晶内缝,晶屑凝灰岩 $10\times 4(-)$,芳深 9-1,3660.48m;(b)一晶内缝,晶屑凝灰岩 $10\times 4(-)$,芳深 701,3581.29m;(c)一芳深 9井,3572.5m,绿色凝灰岩,开启的构造裂缝;(d)一芳深 9-1井,3659.98m,灰白凝灰岩,构造缝,被充填;(e)一生物内孔,岩屑-晶屑熔结凝灰岩,FS701,3584.02m, $1000\times$;(f)一溶孔,凝灰岩,FS901,3584.71m;(g)一粒内溶孔, $10\times 4(-)$,芳深 701,3576.56m;(h)一溶孔,扫描电镜, $100\times$,芳深 901,3662.48m

(a) —Intracrystalline seam, crystal tuff $10\times 4(-)$, Fangshen9-1, 3660.48m; (b) —intracrystalline seam, crystal tuff $10\times 4(-)$, Fangshen701, 3581.29m; (c) —well Fangshen9, 3572.5m, green tuff, open tectonic fracture; (d) —well Fangshen9-1, 3659.98m, gray tuff, structural fractures, filled; (e) —secondary intragranular pore, lithic crystal welded tuff, FS701,3584.02m, $1000\times$; (f) —dissolved pore, tuff, FS901, 3584.71m; (g) —intragranular dissolved pore, $10\times 4(-)$, Fangshen701, 3576.56m; (h) —dissolved pore, SEM, $100\times$, Fangshen901, 3662.48m

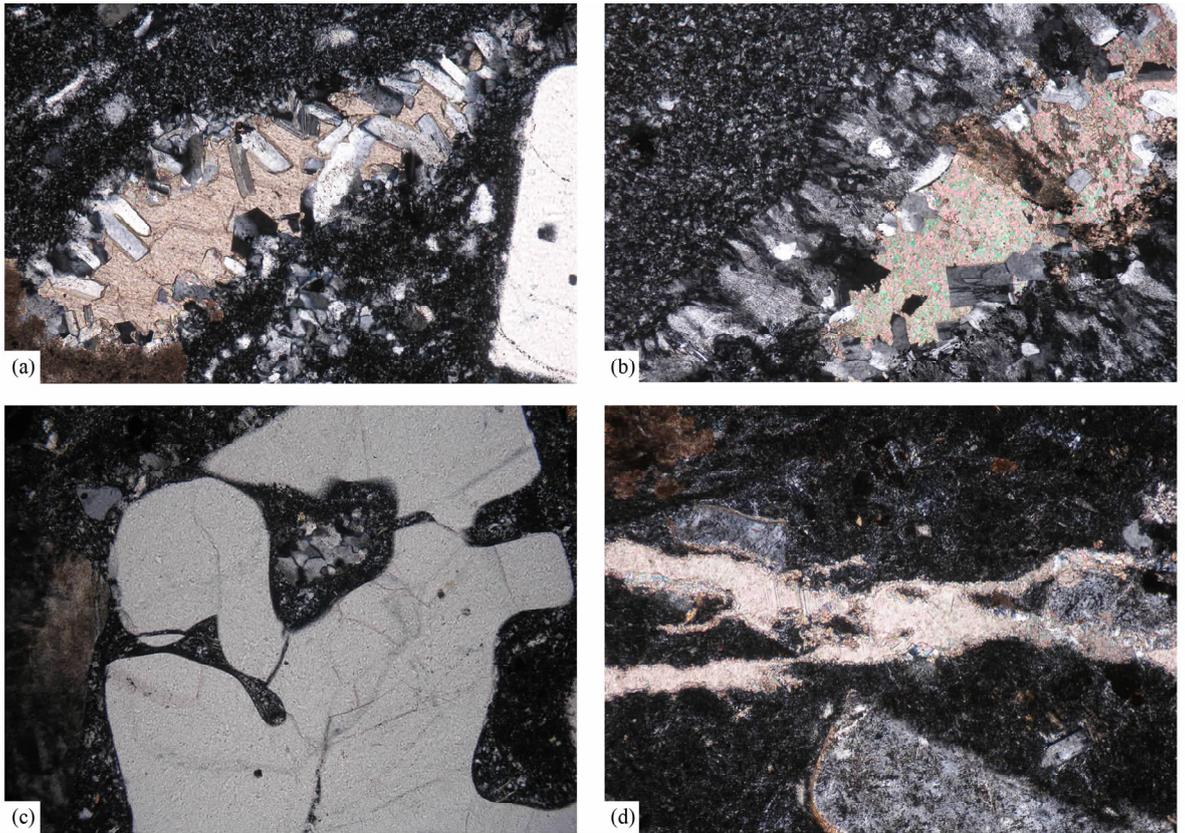


图 9 松辽盆地昌德气田储集空间的破坏

Fig. 9 Destruction of the reservoir space of Changde gas field, Songliao Basin

(a)—长石和方解石充填气孔, $10\times 4(+)$, 芳深 6-1, 3662.48m; (b)—多期矿物充填气孔, $10\times 10(+)$, 芳深 6-1, 3663.68m;

(c)—溶孔充填石英, $10\times 4(+)$, 芳深 101 井, 井深 3496.96m; (d)—方解石充填裂缝, $10\times 4(+)$, 芳深 901 井, 井深 3581.5m

(a)—Feldspar and calcite filled the pores, $10\times 4(+)$, Fangshen6-1, 3662.48m; (b)—multi-phase mineral filled the pores, $10\times 10(+)$, Fangshen6-1, 3663.68m; (c)—quartz filled the dissolved pores, $10\times 4(+)$, well Fangshen101, 3496.96m; (d)—calcite filled the cracks, $10\times 4(+)$, well Fangshen901, 3581.5m

相的热碎屑流、热基浪和空落亚相等岩相类型。从岩相类型的平面分布看, 芳深 9 井附近以爆发相为主, 其他地区多为溢流相。

火山岩储层发育粒内溶孔、晶内熔孔、晶间微孔、构造微裂缝、炸裂缝和收缩缝等多种储集空间类型, 从储集空间组合来看, 单纯的孔隙型和裂缝型较少, 多为裂缝-孔隙型(占 30.43%)和孔隙-裂缝型的复合类型(占 39.13%)。

研究区火山岩为低孔低渗储层, 岩性和岩相与物性关系密切, 同时控制着原生孔隙的形成。后期的成岩改造, 包括构造活动、溶蚀作用等决定了次生孔隙的发育程度, 构造运动产生的裂缝是该区储层得以改善的主要因素, 而后期充填作用破坏了储层的储集性能。火山口附近爆发相与溢流相的叠合区是天然气勘探的有利目标。

参 考 文 献

- 冯子辉, 邵红梅, 童英. 2008. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储层储集性控制因素研究. 地质学报, 2(6): 760~767.
- 冀国盛, 戴俊生, 马欣本, 王志云. 2002. 苏北盆地冈北地区阜宁组一、二段火山岩的储层特征. 石油与天然气地质, 23(3): 289~292.
- 蒙启安, 门广田, 赵洪文, 霍凤龙, 江涛, 邵明里. 2002. 松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用. 石油与天然气地质, 23(3): 285~285.
- 马乾, 鄂俊杰, 李文华, 成锁银. 2000. 黄骅坳陷北堡地区深层火成岩储层评价. 石油与天然气地质, 21(4): 337~340.
- 邱隆伟, 姜在兴, 熊志东, 李晓红, 刘丰忠, 贾玉芝. 2003. 辽河盆地东部凹陷火山岩油藏类型及成藏条件研究. 石油实验地质, 25(4): 389~394.
- 谢庆宾, 韩德馨, 朱筱敏, 朱毅秀. 2002. 三塘湖盆地火成岩储集空间类型及特征. 石油勘探与开发, 29(1): 84~86.
- 杨金龙, 罗静兰, 何发岐, 俞任连, 翟晓先. 2004. 塔河地区二叠系火

- 山岩储集层特征. 石油勘探与开发, 31(4): 44~47.
- 赵海玲, 刘振文, 李剑, 狄永军, 罗霞, 刘清华, 赵国泉. 2004. 火成岩油气储层的岩石学特征及研究方向. 石油与天然气地质, 25(6): 609~613.
- 张新荣, 王东坡. 2001. 火山岩油气储层特征浅析. 世界地质, 20(3): 272~278.
- 张子枢, 吴邦贵. 1994. 国内外火山岩油气藏研究现状及勘探技术调研. 天然气勘探与开发, 16(1): 1~26.
- Benyamin. 2007. Facies distribution approach from log and seismic to identification hydrocarbon distribution in volcanic fracture. 9th SPWLA Japan Formation Evaluation SYMP., 9: 25~26.
- Dutkiewicz A, Volk H, Ridley J, George S C. 2004. Geochemistry of oil in fluid inclusions in a middle Proterozoic igneous intrusion: implications for the source of hydrocarbons in crystalline rocks. *Organic Geochemistry*, 35: 937~957.
- Kawamoto T. 2001. Distribution and alteration of the volcanic reservoir in the Minami-Nagaoka gas field. *J. Japan. Ass. Petroleum Tech*, 66: 46~55.
- Luo J L, Zhang C L, Qu Z H. 1999. Volcanic reservoir rocks: a case study of the Cretaceous Fenghuadian suite, Huanghua Basin, Eastern China. *J. Petroleum Geol*, 22: 397~415.
- Sruoga P, Rubinstein N. 2007. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquen basins, Argentina. *AAPG Bull*, 91: 115~129.

Characteristics and Controlling Factors of the Yingcheng Formation Volcanic Reservoir in the Changde Area, Songliao Basin

XIE Qingbin^{1,2)}, GAO Xia³⁾, XIA Qiujuan⁴⁾, SHU Ping⁵⁾, YANG Shuangling⁵⁾, XUN Yan⁵⁾, LI Na²⁾

1) *State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249*; 2) *College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249*; 3) *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing, 100083*; 4) *Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei, 063000*; 5) *Exploration & Development Research Institute, PetroChina Daqing Oilfield Limited Company, Daqing, Heilongjiang, 163712*

Abstract

The volcanic reservoir in the Changde area in Songliao Basin consist of ignimbrite and tuff, most of which belong to acidic volcanic rock, and is very different from other volcanic reservoirs of oil and gas basin in China. The rock is generally compact in structure and texture. Structure cracks and corrosion caves can be observed in drilling cores, with dissolved holes seen locally. Various types of reservoir space can be found under microscope, including intragranular dissolved pores, intra-crystal pores, structural micro-cracks, cracks and contraction joints and others. The volcanic rocks are generally thin, with about 75 m of the biggest thickness in the volcanic rock of Fangshen 9 well. In addition, the Fangshen 9 well shows an explosive facies, while other places show effusion facies. Volcanic rocks in the study area are low-porosity, low-permeability reservoir, and its lithology and lithofacies are closely related to physical properties and control the formation of the primary porosity. Late diagenetic reformation, including tectonic activities and dissolution determines the degree of development of secondary pores. Fractures produced by tectonic movement are the important factor to improve reservoir quality, while the late filling destroys the capability of reservoir and accumulation. The superimposing areas between eruption and effusion facies near volcanic crater are the favorable target for gas exploration.

Key words: Songliao Basin; Changde area; yingcheng formation; volcanic reservoir