

文章编号: 0253-2697(2013)04-0667-08 DOI:10.7623/syxb201304006

松辽盆地南部英台断陷营城组火山岩晶间微孔特征及储层效应

高有峰¹ 吴艳辉^{2,3} 刘万洙² 瞿雪姣² 唐华风²

(1. 吉林大学古生物学与地层学研究中心 吉林长春 130026; 2. 吉林大学地球科学学院 吉林长春 130061;
3. 吉林省安全科学技术研究院 吉林长春 130051)

摘要:松辽盆地南部英台断陷营城组火山岩中普遍发育晶间微孔隙,主要由重结晶作用和溶蚀作用形成。按成因和骨架颗粒的种类可将晶间微孔分为放射状碱性长石晶间微孔、黏土矿物晶间微孔和混合矿物晶间微孔3种类型。基质发生脱玻化重结晶作用,形成球粒状钾长石的区域晶间微孔面孔率为5.2%,形成黏土矿物和石英长石雏晶的区域面孔率增加9.5%~13.6%;长石发生局部溶蚀形成伊利石的区域,面孔率可增加6.5%~10.1%;而伊利石充填火山碎屑岩的粒间孔隙,仍可保留22.3%的晶间微孔型储集空间。结合英台断陷勘探实例,认为晶间微孔发育的火山岩可作为天然气的有利储层。

关键词:松辽盆地;营城组;火山岩;晶间微孔;成岩作用

中图分类号:TE112.222

文献标识码:A

Intercrystalline micropore characteristics and reservoir effect of Yingcheng Formation volcanic rock in Yingtai fault depression, southern Songliao Basin

GAO Youfeng¹ WU Yanhui^{2,3} LIU Wanzhu² QU Xuejiao² TANG Huafeng²

(1. Research Center of Palaeontology & Stratigraphy, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 3. Jilin Academy of Safety Science & Technology, Changchun 130051, China)

Abstract: Volcanic intercrystalline micropores mainly formed by recrystallization and dissolution develop widely in the Yingtai fault depression, southern Songliao Basin. According to the genesis and types of skeleton grains, volcanic intercrystalline micropores can be divided into three types, i. e. intercrystalline micropores of radial alkali feldspar, clay minerals and mixed minerals. Surface porosity analyses showed that due to the devitrification of matrix, the porosity of intercrystalline micropores in the spherulitic K-feldspar region amounts to 5.2%, the porosity of intercrystalline micropores in the region of clay minerals and quartz-feldspar crystallites increases from 9.5% to 13.5%, the porosity of intercrystalline micropores in the region where partial feldspar alters to illite may increase to 6.5%~10.1%, while intergranular pores of pyroclastic rocks filled with illite can still retain a porosity of 22.3% for intercrystalline micropores. Combined with the exploration practice in the Yingtai fault depression, we suggested that volcanic rocks with rich intercrystalline micropores can serve as a favorable reservoir of natural gas.

Key words: Songliao Basin; Yingcheng Formation; volcanic rock; intercrystalline micropore; diagenesis

近年来,松辽盆地火山岩储层的研究重点从岩性、岩相等宏观规律研究^[1-7],逐渐转向有效储层评价及形成机制等精细研究^[8-13],其中储集空间、物性特征和成岩作用是探讨储层形成机制的主要内容^[14-17]。在对松辽盆地南部英台断陷营城组火山岩储层研究过程中,发现其储集空间除常见的原生气孔、粒间孔、溶蚀孔和裂缝外,还发育大量晶间微孔隙。目前,对微孔隙的定义不统一,不同研究领域微孔尺度也不相同:在地球科

学大辞典中微孔隙的定义为直径0.1~10 μm、无重力水但毛细管现象明显的孔隙^[18];《石油地质学》第四版中把微孔隙定义为直径小于0.2 μm,液体不能沿其内部移动的孔隙^[19]等。笔者采用CoreDBMS软件对扫描电镜图像中微孔隙大小直接测量,显示最大孔隙直径为3.07 μm,直径在0.09~2.92 μm的微孔隙占90%以上,孔隙大小基本位于地球科学大辞典中定义的区间范围。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB822002和2009CB219305)和国家自然科学基金项目(No. 41002038)资助。

第一作者:高有峰,男,1982年6月生,2004年获吉林大学学士学位,2010年获吉林大学博士学位,现为吉林大学讲师,主要从事火山岩储层成岩作用和地层对比研究。Email:gaoyoufeng@jlu.edu.cn

通信作者:唐华风,男,1979年6月生,2001年获吉林大学学士学位,2007年获吉林大学博士学位,现为吉林大学副教授,主要从事火山岩储层地质、地球物理研究。Email:tanghfhc@jlu.edu.cn

在沉积岩储层研究领域,对晶间微孔的特征和储集性能进行过讨论。刘小洪等^[20]通过对砂岩理论解释孔隙含量与薄片下实测孔隙含量的对比,认为在砂岩黏土矿物中发育晶间微孔隙;李阳^[21]系统分析了惠民凹陷基山砂体储层的孔隙结构,指出在基山砂体中存在大量晶间微孔隙,微孔构成的孔隙网络占据了储集空间的主体;陈丽华^[22]利用扫描电镜等手段研究了碳酸盐岩中的晶间微孔,认为晶间微孔和微裂缝连通性良好;此外,也有国外学者进行过晶间微孔的相关研究,并指出储层中黏土矿物含量越高,晶间微孔隙越多^[23-24]。因此,晶间微孔虽然细小,但可在火山岩和沉积岩中大量存在,其含量与黏土矿物含量呈正比。通过普通薄片和铸体薄片观察,对英台断陷营城组火山岩储集空间进行研究,发现在营城组一段(简称营一段)火山岩中存在大量晶间微孔隙,利用扫描电镜和能谱分析等手段,对晶间微孔的种类进行细分,并进行面

孔率计算和储层效应分析,以期对松辽盆地南部深层火山岩储层的形成机制研究提供更为详实的资料。

1 火山岩储集空间特征

火山岩作为一个复杂而特殊的油气储层,储集性的研究是储层研究的重要组成部分。王璞珺等^[11]针对松辽盆地火山岩储层的具体特点,将火山岩的储集空间进行了细致划分:首先,按成因划分为原生孔隙、次生孔隙和裂缝3种类型;按结构又进一步划分出13种亚类。根据此划分方法,结合对英台断陷21口钻井673个岩石薄片、40个铸体薄片和29个扫描电镜观察,把营城组火山岩储集空间按成因分为3种类型,分别为原生孔隙、次生孔隙和裂缝。原生孔隙包括熔蚀孔、原生气孔、粒/砾间孔、冷凝收缩缝、矿物炸裂缝和解理缝;次生孔隙包括晶间微孔、溶蚀孔;裂缝主要为构造—溶蚀缝(表1)。

表 1 英台断陷营城组火山岩储集空间类型和特征

Table 1 Reservoir space types and characteristics of Yingcheng Formation volcanic rock in Yingtai fault depression				
孔隙类型		成因	特 征	代表岩性
原生孔隙	熔蚀孔	因深部岩浆喷出地表,压力突然降低,温度瞬时升高,从而使已经形成的斑晶遭到局部熔蚀形成的孔隙	熔蚀孔形态多为港湾状、浑圆状,可以成为火山岩的储集空间	流纹岩、安山岩
	原生气孔	含有大量气液包裹体的火山物质喷出地表时,流动单元上部遗留下来后期未充填物质的孔隙	气孔的形态有圆形、椭圆形、线状及不规则形态,大小不等,分布均匀。部分为不连通的独立孔	流纹岩、玄武岩
	粒/砾间孔	火山碎屑颗粒间经成岩压实和重结晶作用后残余的孔隙	形态不规则,通常沿碎屑边缘分布,主要为晶间孔和残余的孔隙,连通性较好	火山碎屑岩
	冷凝收缩缝	岩浆喷发时,由于基质近于等体积条件下的快速冷却形成	晶面不规则状,局部呈环带状,主要为晶内裂缝孔和基质收缩裂缝,连通性好	火山熔岩
	矿物炸裂缝和解理缝	碎斑/聚斑结构矿物斑晶间爆裂缝和矿物解理缝	晶面碎裂或矿物沿解理面裂开呈不规则线状裂缝,连通性好	含斑晶的火山岩
次生孔隙	晶间微孔	①火山玻璃随时间和温度、压力的变化,逐渐转化为雏晶或微晶的过程中形成;②溶蚀过程中形成	细小的孔隙,在脱玻化基质中或溶蚀作用发生后新生矿物中存在,具有一定的连通性	各类火山岩
	溶蚀孔	火山熔岩、火山碎屑岩或碎屑熔岩中斑晶或基质被溶蚀产生的孔隙	其孔隙形态不规则,如完全溶蚀矿物,则保留原晶体假象;主要为晶内孔,连通性较好	各类火山岩
裂缝	构造-溶蚀缝	火成岩成岩后受构造应力作用产生的裂缝,包括后期未被充填的裂缝和充填后被溶蚀、又重新开启的裂缝	有横向、纵向,也有交错的,有的横切连通气孔和基质溶蚀孔等,未被充填或充填后被溶蚀的裂缝连通性好,是很好的油气运移通道	各类火山岩

2 晶间微孔类型及特征

英台断陷营城组火山岩中普遍发育晶间微孔,在流纹岩、英安岩和珍珠岩中主要表现为基质脱玻化重结晶作用形成的矿物晶间微孔隙,在次火山岩和火山碎屑岩中表现为斜长石颗粒蚀变形成的黏土矿物晶间微孔隙。通过铸体薄片、扫描电镜和能谱分析,按成因和骨架颗粒的种类将晶间微孔分为3种类型。

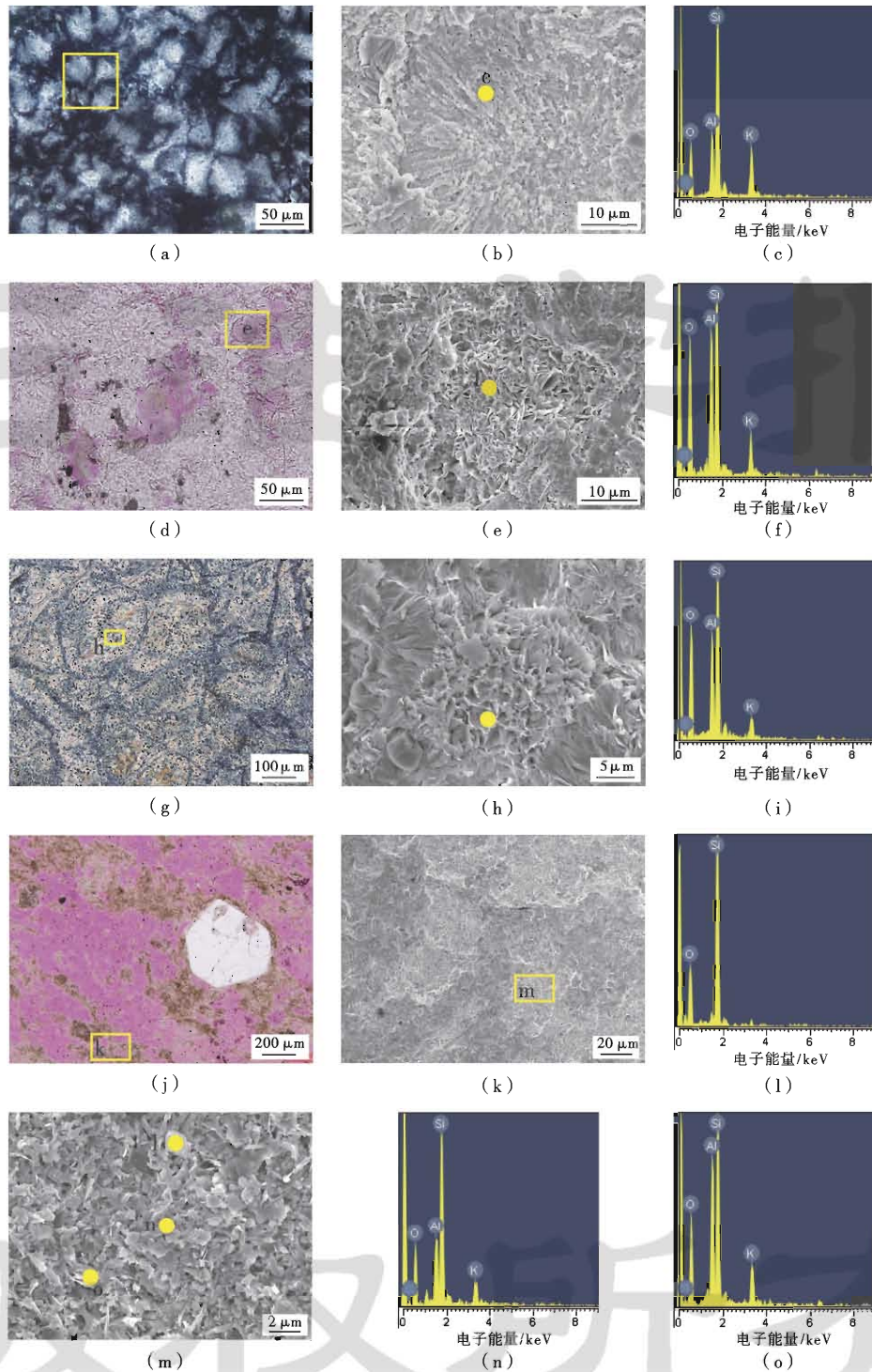
2.1 放射状碱性长石晶间微孔

流纹岩随埋藏深度的增加,隐晶质基质发生脱玻化和重结晶作用。重结晶成钾长石球粒和粉末状钠长

石矿物,在球粒内长条形钾长石矿物间发育晶间微孔[图1(a)—图1(c)]。孔隙一般呈不规则长条状,局部见少量近圆状,大小一般为0.5~5 μm。该类型晶间微孔隙在流纹岩中普遍发育,储集性和连通性都较好,可以作为火山岩内部良好的储气空间。

2.2 黏土矿物晶间微孔

中基性熔岩或次火山岩中的斜长石颗粒通常不稳定,往往发生蚀变作用形成黏土矿物。在英台断陷中,营城组火山岩一般埋藏较深,通过扫描电镜和能谱分析,发育在次火山岩和火山碎屑岩中的斜长石蚀变作用强烈[图1(d)—图1(e)],通常在溶蚀孔中充填片状



(a)流纹岩,球粒结构,LS201井,3 603 m;(b)为(a)中所示方框球粒的扫描电镜放大图像;(d)辉绿岩铸体薄片照片,见斜长石溶蚀孔,LS1井,3 046.8 m;(e)为(d)中斜长石溶蚀孔的扫描电镜放大图像,显示有伊利石充填;(g)珍珠岩,脱玻化作用强烈,可见珍珠构造,LS201井,3 103 m;(h)为珍珠岩的扫描电镜放大图像,可见玻璃质脱玻化形成的伊利石;(j)英安岩铸体薄片照片,基质脱玻化作用强烈,LS1井,3 302.8 m;(k)和(m)为扫描电镜放大图片,可见玻璃质脱玻化形成的石英、钾长石和伊利石雏晶;(c)、(f)、(i)、(l)、(n)、(o)为扫描电镜图像中对应点的能谱图。

图1 晶间微孔类型及矿物能谱特征

Fig. 1 Intercrystalline micropore types and energy spectrum characteristics

伊利石[图 1(f)]或绿泥石;同时发现,珍珠岩中火山玻璃基质强烈蚀变[图 1(g)],形成蜂窝状和毛发状伊利石[图 1(h)—图 1(i)]。在伊利石矿物微晶之间都存在大量晶间微孔隙,孔隙一般呈棱角状或不规则状,边缘平直,孔隙大小为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 。

2.3 混合矿物晶间微孔

该类型晶间微孔主要发育在流纹岩和珍珠岩基质中[图 1(j)]。通过扫描电镜和能谱分析,隐晶质和玻璃质基质脱玻化重结晶后生成的矿物复杂[图 1(k)—图 1(m)],主要有自生针状伊利石[图 1(o)]、片状碱性长石[图 1(n)]和石英雏晶[图 1(l)],矿物晶粒粒径 $0.2\sim 2\ \mu\text{m}$,松散堆积,内部具大量晶间微孔隙。孔隙一般呈不规则状,大小为 $0.5\sim 1\ \mu\text{m}$,连通性好。

综上所述,晶间微孔的形成基本都与火山玻璃脱玻化重结晶或斜长石溶蚀作用有关,且都发育在黏土矿物、石英和长石雏晶之间。孔隙大小一般为零点几微米到几微米。从铸体薄片可以看出,晶间微孔发育的岩性,孔隙性和连通性都较好,可以作为有效的储集空间。

3 与晶间微孔相关的成岩作用类型及储层效应

成岩作用的储层效应是指在成岩过程中的体积效应及其导致的岩石孔隙的增减,笔者通过图像面孔率统计法来讨论与晶间微孔相关的成岩作用的储层效应,面孔率分析选用 CoreDBMS 软件。对英台断陷营城组火山岩 5 口探井 9 个样品进行成岩作用分析,包括脱玻化重结晶作用、溶蚀作用和充填作用。脱玻化重结晶作用主要表现为隐晶质或玻璃质基质脱玻化重结晶成粒状长英质矿物和针状伊利石的混合物、片状伊利石集合体或球粒状碱性长石;溶蚀作用主要表现为长石遭溶蚀作用形成片状伊利石或被完全溶解、珍珠岩中玻璃质基质溶蚀形成蜂窝状伊利石;充填作用主要表现为片状伊利石充填孔缝。在此基础上对 12 张扫描电镜图像进行面孔率统计,脱玻化重结晶作用和溶蚀作用样品的面孔率可以反映晶间微孔所产生的孔隙量,而充填作用样品的面孔率实际上反映的是孔隙被充填后仍能保留的量(表 2)。

表 2 英台断陷营城组火山岩井壁取心样品扫描电镜图像面孔率统计

Table 2 SEM surface porosity analysis of volcanic rocks from sidewall coring samples in Yingcheng Formation, Yingtai fault depression

样品号	岩性	成岩作用类型	面孔率/%
LS1-3302. 8A	英安岩	基质脱玻化形成石英、碱性长石和伊利石	13. 6
LS1-3302. 8B	英安岩	基质脱玻化形成石英、碱性长石和伊利石	9. 5
LS2-4125. 4	流纹质角砾熔岩	基质脱玻化形成片状伊利石	10. 5
LS301-3046A	流纹岩	基质脱玻化形成片状伊利石	10. 8
LS201-3603	流纹岩	基质脱玻化形成球粒状钾长石	5. 2
LS1-3046. 8	辉绿岩	斜长石局部溶蚀形成伊利石	9. 9
LS303-3750	安山岩	斜长石局部溶蚀形成伊利石	7. 1
LS301-3046B	流纹岩	碱性长石局部溶蚀形成伊利石	6. 5
LS201-3103A	珍珠岩	基质溶蚀形成蜂窝状伊利石	8. 4
LS201-3103B	珍珠岩	基质溶蚀形成蜂窝状伊利石	10. 1
LS1-3424. 8	沉凝灰岩	片状伊利石充填粒间孔	11. 0
LS303-3848	流纹质角砾凝灰岩	片状伊利石充填粒间孔	22. 3

注:面孔率指晶间微孔隙的面积与扫描电镜尺度下岩石表面发生脱玻化重结晶作用、溶蚀作用或充填作用面积的比。

3.1 脱玻化重结晶作用的储层效应

前人研究认为由胶状二氧化硅转化为石英后可使储层孔隙增加 13. 2%^[17],流纹质玻璃脱玻化和重结晶成碱性长石可使储层增加 8. 88% 的孔隙空间^[25],这两个计算结果是通过松辽盆地东南隆起区和北部徐家围子火山岩脱玻化前后火山玻璃和形成矿物的密度差计算得到的理论孔隙增加量。笔者通过统计 4 个样品 5 张图像的面孔率来讨论该成岩作用,发生晶间微孔的主要岩性为隐晶质流纹岩和珍珠岩,根据脱玻化形成的矿物不同,晶间微孔的孔隙大小和面孔率有所差别。总体来看,隐晶质流纹岩中基质普遍发生

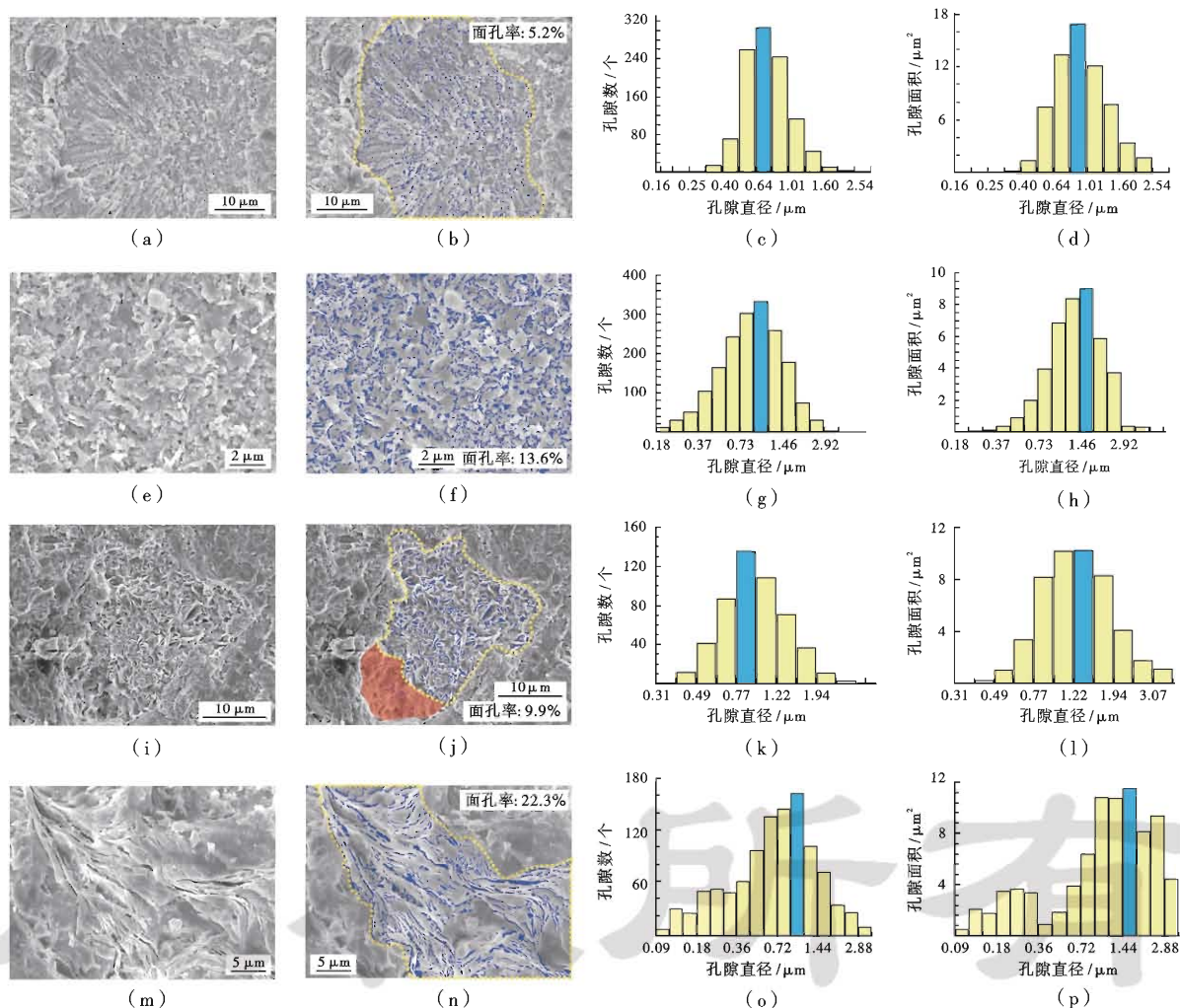
脱玻化重结晶作用,但其形成钾长石球粒的面孔率最小,主要孔径区间在 $0.64\sim 0.80\ \mu\text{m}$ [图 2(a)—图 2(d)];形成石英、碱性长石和伊利石混合矿物所产生的面孔率最大[图 2(e)—图 2(h)],主要孔径区间在 $0.73\sim 1.46\ \mu\text{m}$ 。而珍珠岩发生脱玻化重结晶作用主要形成片状伊利石,微孔孔径介于上述两者之间,为 $0.71\sim 0.89\ \mu\text{m}$ 。LS201 井综合解释为气层的 3 个样品物性参数测定显示,孔喉直径大小变化在 $0.07\sim 0.11\ \mu\text{m}$ (表 3),样品 LS303-3848 扫描电镜图像的面孔率分析结果显示,晶间微孔的孔径最小为 $0.16\ \mu\text{m}$ [图 2(c)与图 2(d)],大于实测孔径的均值

0.07 μm 。综上所述,基质脱玻化重结晶后都可以形成晶间微孔隙,孔隙的大小随着产生的矿物不同而不同,孔径一般为0.3~2 μm ,大于实测的孔喉直径均值,可作为有效的储集空间。

3.2 溶蚀作用的储层效应

溶蚀作用储层效应的研究主要探讨火山岩与次火山岩中斑晶、晶屑或基质发生溶蚀作用,产生的新矿物充填溶蚀孔而对储层的影响。在英台断陷营城组火山岩中主要见有斜长石和碱性长石表面蚀变形成片状伊利石、珍珠岩基质蚀变成蜂窝状伊利石,共统计4个样品5张面孔率图像。中基性岩中斜长石斑晶在偏碱性的介质中经常发生溶蚀作用,以

LS1-3 046.8辉绿岩样品为例,薄片下发现该样品中斜长石颗粒普遍发生溶蚀[图2(i)],并产生伊利石微晶,局部被溶解形成溶蚀孔[图2(j)红色区域],在伊利石微晶间存在微孔隙,面积占长石发生溶蚀区域[图2(j)黄线圈闭区域]的9.9%,主要孔径分布在0.77~1.22 μm 。在安山岩和流纹岩中,发现碱性长石溶解程度较高,推测其经历了偏酸性流体的溶解,选取了两个样品进行面孔率测定(表2)。此外,薄片鉴定发现,珍珠岩的玻璃质基质蚀变现象明显,几乎全部形成伊利石微晶,伊利石呈毛发状和蜂窝状[图1(g)—图1(h)],具大量晶间微孔隙,面孔率为8.4%和10.1%(表2)。



(a)、(b)为LS201-3603m样品流纹岩脱玻化重结晶形成球粒状钾长石的扫描电镜及面孔率分析图像;(e)、(f)为LS1-3302.8m样品英安岩基质形成伊利石、石英和钾长石的扫描电镜及面孔率分析图像;(i)、(j)为LS1-3046.8m样品辉绿岩中斜长石遭受溶蚀的扫描电镜及面孔率分析图像;(m)、(n)为LS303-3848m样品流纹质角砾凝灰岩中伊利石充填粒间孔隙的扫描电镜及面孔率分析图像;(c)、(d)、(g)、(h)、(k)、(l)、(o)和(p)为通过CoreDBMS软件统计的孔径与孔隙个数、孔隙面积的关系;黄色虚线所围区域为发生脱玻化重结晶作用、溶蚀作用或充填作用的区域,(j)图片中红色区域为斜长石颗粒局部完全被溶蚀。

图2 晶间微孔的面孔率分析

Fig. 2 SEM surface porosity analysis of intercrystalline micropore

表 3 英台断陷 LS201 井营城组一段样品实测物性特征
Table 3 Physical properties of Well LS201 cores in Yingtai fault depression

深度/m	有效孔隙度/%	水平渗透率/mD	孔喉直径均值/ μm	排驱压力/MPa	岩性	岩相
3 025.0	14.00	0.04	0.11	4.10		
3 160.0	11.60	0.04	0.08	6.31	流纹岩	喷溢相
3 208.0	11.00	0.04	0.07	6.59		

3.3 充填作用的储层效应

以往研究认为,孔隙被完全充填后就丧失了储集性能。通过扫描电镜和铸体薄片观察,被伊利石等黏土矿物充填的孔隙仍能保留一部分储集空间,这些黏土矿物晶体之间存在晶间微孔隙,具有一定的储集性能。共统计 2 个样品的 2 张扫描电镜图像,分别为片状伊利石充填沉凝灰岩和流纹质角砾凝灰岩粒间孔。以 LS303-3848 样品为例,片状伊利石充填粒间孔隙区域[图 2(n)黄线圈闭区域]具有明显的晶间微孔,面孔率为 22.3%,主要孔径分布在 0.72~1.44 μm [图 2(o)],对孔隙面积贡献最大的孔径区间为 0.72~2.88 μm [图 2(p)]。由此可见,孔隙被片状伊利石完全充填仍能保留约 1/5 的储集空间。

4 晶间微孔型火山岩储层实例

晶间微孔在英台断陷营城组火山岩中普遍发育。以 LS1 井 3 250~3 310 m 井段为例,主要岩性为闪长玢岩、英安岩和珍珠岩。闪长玢岩段密度普遍较高,平

均密度 2.68 g/cm³,自然伽马均值 67.93 API,薄片下观察见有少量长石溶蚀孔隙,综合解释为差气层和干层;英安岩段平均密度 2.53 g/cm³,自然伽马均值 83.50 API,从井壁取心样品和普通薄片观察,并未发现明显孔隙,但在铸体薄片可见基质中微孔隙发育,扫描电镜下观察基质全部脱玻化重结晶,具大量晶间微孔,综合解释为气水层;珍珠岩段平均密度最低,仅为 2.41 g/cm³,薄片下观察冷凝收缩缝虽极发育,但全部被石英充填,铸体薄片可见基质重结晶,晶间微孔发育,扫描电镜观察基质全部脱玻化重结晶形成伊利石、长石和石英雏晶,微孔隙发育,综合解释为气水层(图 3)。综上所述,该段储集层中不论英安岩还是珍珠岩,晶间微孔都是主要的储集空间,具该种孔隙类型的岩石可作为火山岩有利储层。此外,从该段岩性序列可以看出,在英安岩和珍珠岩发育层段上下,作为次火山岩或浅层侵入岩的闪长玢岩较发育,推测晶间微孔的大量形成与闪长玢岩侵入的热效应有关,具体形成机理还需进一步深入研究。

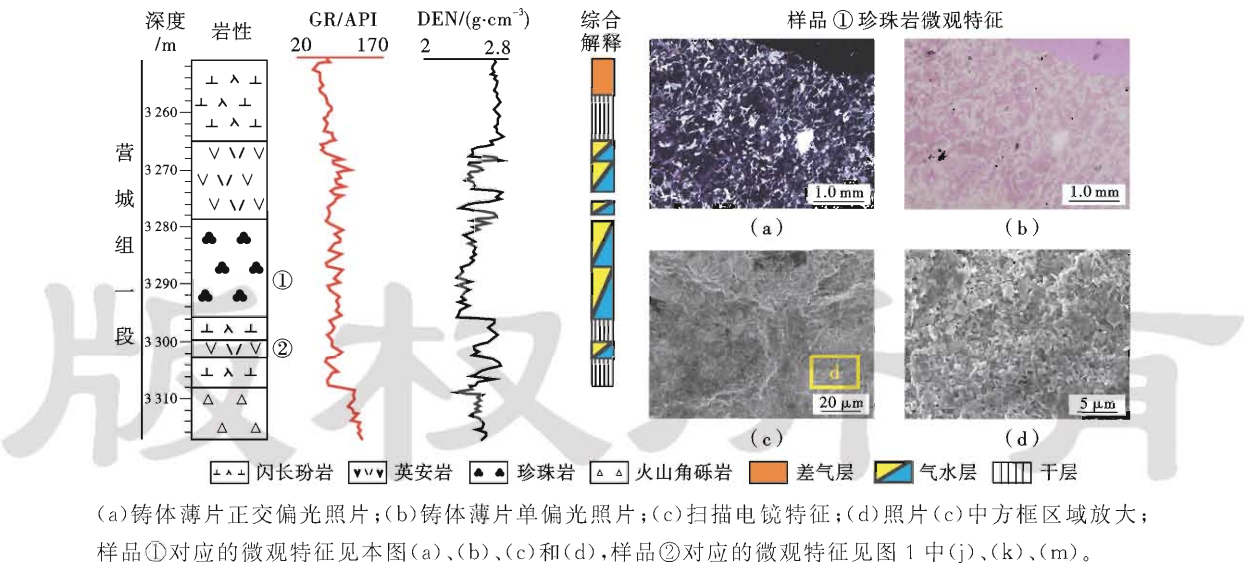


图 3 晶间微孔型火山岩储层实例
Fig. 3 Examples of volcanic reservoir with intercrystalline micropore

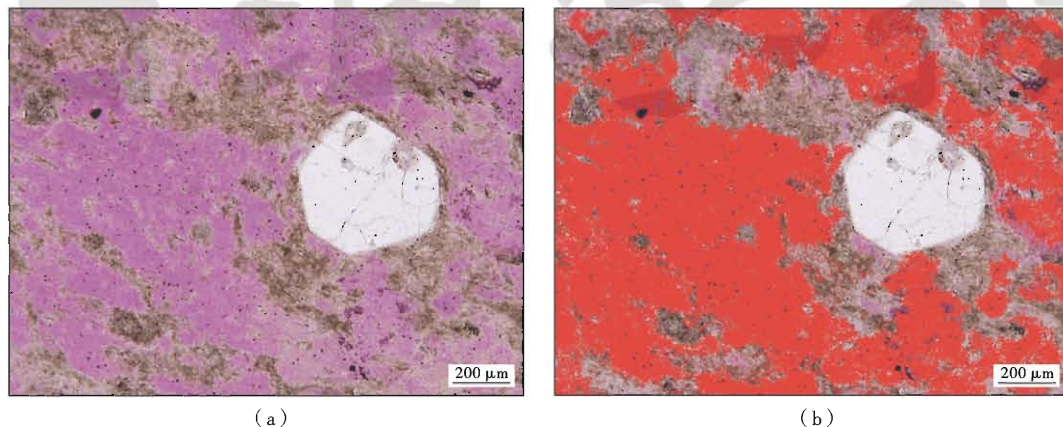
5 晶间微孔在天然气勘探中的意义

以往火山岩储层研究中关于晶间微孔类储层的研究很少,火山岩储层研究的重点主要围绕原生气孔、粒

间孔、次生溶孔和裂缝等展开。发育这些孔缝的火山岩储集空间大,储集能力强,油气充注也往往先选择这些相对大的孔。在以这些储集空间为主的储层中虽然也发育晶间微孔,但贡献度较低,一般不作为晶间微

孔型火山岩储层勘探的重点。而对于没有原生气孔等大孔隙发育但晶间微孔发育的火山岩同样也可以成为好储层,为了探讨微孔隙在储层中所占的比例,在计算晶间微孔隙的面积与岩石表面发生脱玻化重结晶作用、溶蚀作用或充填作用面积比的基础上,计算微孔隙发育区面积占薄片总面积的比(图4),图4(b)涂红区域为英安岩发生脱玻化重结晶的区域,占图像总面积的86.3%,这个比率并不代表晶间微孔对储层的贡献,但此比率与表2中该样品面孔率

13.6%的乘积即为晶间微孔隙在储层中所占的比例,即11.7%。结合铸体薄片片中显示晶间微孔发育区连通性非常好,证明该套英安岩储层可以作为天然气的良好储层,可形成这种储层的岩性还有流纹岩和珍珠岩。这类储层通常属于原生孔隙不发育的喷溢相中部亚相、下部亚相和侵出相内带亚相、中带亚相。在对以火山岩原生气孔等大孔隙储层勘探为主的松南探区,这类“小孔隙”储层同样具有重要的勘探价值。



注:(a)铸体薄片照片;(b)经 CoreDBMS 软件处理后,英安岩发生脱玻化重结晶区域被渲染成红色的照片。

图4 微孔隙发育区面积比率分析

Fig. 4 Rate analysis about the area of intercrystalline micropore

6 结 论

(1) 晶间微孔在脱玻化重结晶作用或溶蚀作用过程中形成,可作为火山岩储层的有效储集空间。

(2) 英台断陷营城组火山岩中可见3种类型的晶间微孔,分别为放射状碱性长石晶间微孔、黏土矿物晶间微孔和混合矿物晶间微孔。

(3) 基质发生脱玻化重结晶作用的岩石中,形成球粒状钾长石的区域晶间微孔面孔率为5.2%,形成黏土矿物和石英长石锥晶的区域面孔增加9.5%~13.6%;长石发生局部溶蚀形成伊利石的区域,面孔率可增加6.5%~10.1%;伊利石充填火山碎屑岩的粒间孔隙,最多可保留22.3%的储集空间。

(4) 晶间微孔发育的火山岩可作为天然气的有利储层。

参 考 文 献

[1] 王璞珺,迟元林,刘万洙,等.松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义[J].吉林大学学报:地球科学版,2003,33(4):449-456.
Wang Pujun, Chi Yuanlin, Liu Wanzhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition,

2003,33(4):449-456.

[2] 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):18-23.

Wang Pujun, Chen Shumin, Liu Wanzhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in Songliao basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 18-23.

[3] 刘万洙,王璞珺,门广田,等.松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1):28-31.

Liu Wanzhu, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in northern Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 28-31.

[4] 蒙启安,门广田,赵洪文,等.松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用[J].石油与天然气地质,2002,23(3):285-288.

Meng Qi'an, Men Guangtian, Zhao Hongwen, et al. Characteristics of Mesozoic volcanic rocks and its controlling effect on gas reservoir in Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 285-288.

[5] 张方礼,尹万泉,郭建华,等.辽河大洼油田火山岩储层研究[M].武汉:中国地质大学出版社,2000:37-43.

Zhang Fangli, Yin Wanquan, Guo Jianhua, et al. Study on volcanic reservoirs of Dawa oilfield, Liaohu [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000: 37-43.

[6] 唐华凤,白冰,边伟华,等.松辽盆地营城组火山机构地层结构定量模型[J].石油学报,2012,33(4):541-550.

- Tang Huafeng, Bai Bing, Bian Weihua, et al. Quantitative models of strata texture within volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, NE China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(4): 541-550.
- [7] 唐华凤, 庞彦明, 边伟华, 等. 松辽盆地白垩系营城组火山机构储层定量分析[J]. *石油学报*, 2008, 29(6): 841-845.
- Tang Huafeng, Pang Yanming, Bian Weihua, et al. Reservoirs quantitative analysis of volcanic edifice of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Early Cretaceous, NE China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(6): 841-845.
- [8] 刘嘉麒, 孟凡超, 崔岩, 等. 试论火山岩油气藏成藏机理[J]. *岩石学报*, 2010, 26(1): 1-13.
- Liu Jiaqi, Meng Fanchao, Cui Yan, et al. Discussion on the formation mechanism of volcanic oil and gas reservoirs[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1): 1-13.
- [9] 侯启军. 松辽盆地南部火山岩储层主控因素[J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 749-756.
- Hou Qijun. Main controlling factors of volcanic reservoirs in the southern Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(5): 749-756.
- [10] 王璞珏, 冯志强, 刘万洙, 等. 盆地火山岩: 岩性 · 岩相 · 储层 · 气藏 · 勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 75-77.
- Wang Pujun, Feng Zhiqiang, Liu Wanzhu, et al. Volcanic rocks in petroliferous basins: petrography · facie · reservoir · pool · exploration[M]. Beijing: Science Press, 2008: 75-77.
- [11] 王璞珏, 吴河勇, 庞彦明, 等. 松辽盆地火山岩相: 相序、相模式与储层物性的定量关系[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2006, 36(5): 805-812.
- Wang Pujun, Wu Heyong, Pang Yanming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: sequence, model and the quantitative relationship with porosity & permeability of the volcanic reservoir[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2006, 36(5): 805-812.
- [12] 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 settings of igneous rocks and origin of volcanic reservoirs in Ludong area, eastern Junggar Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 351-360.
- [13] 蔡东梅, 孙立东, 齐景顺, 等. 徐家围子断陷火山岩储层特征及演化规律[J]. *石油学报*, 2010, 31(3): 400-407.
- Cai Dongmei, Sun Lidong, Qi Jingshun, et al. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(3): 400-407.
- [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): 1251-1258.
- 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.
- [15] 杨双玲, 刘万洙, 于世泉, 等. 松辽盆地火山岩储层储集空间特征及其成因[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2007, 37(3): 506-512.
- Yang Shuangling, Liu Wanzhu, Yu Shiquan, et al. Pore textures and its causes of volcanic reservoir in Songliao Basin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2007, 37(3): 506-512.
- [16] 李忠诚. 英台气田 LS1 区块火山岩相与储集性关系研究[J]. *天然气勘探与开发*, 2010, 33(4): 15-17.
- Li Zhongcheng. Relationship between volcanic lithofacies and reservoir property of Longshen 1 block, Yingtai gasfield[J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2010, 33(4): 15-17.
- [17] 刘万洙, 黄玉龙, 庞彦明, 等. 松辽盆地营城组中基性火山岩成岩作用: 矿物晶出序列、杏仁体充填和储层效应[J]. *岩石学报*, 2010, 26(1): 158-164.
- Liu Wanzhu, Huang Yulong, Pang Yanming, et al. Diagenesis of intermediate and mafic volcanic rocks of Yingcheng Formation(K_1y) in the Songliao basin: Sequential crystallization, amygdale filling and reservoir effect[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1): 158-164.
- [18] 《地球科学大辞典》编辑委员会. 地球科学大辞典: 应用学科卷[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 388.
- "A dictionary of earth sciences" Editorial Committee. A dictionary of earth sciences: application of the subject volume[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 388.
- [19] 柳广弟, 张厚福. 石油地质学[M]. 第四版. 北京: 石油工业出版社, 2009: 34.
- Liu Guangdi, Zhang Houfu. Petroleum geology[M]. 4th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 34.
- [20] 刘小洪, 罗静兰, 张三, 等. 榆林-神木地区上古生界盒 8 段及山 2 段气层的成岩作用和成岩相[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(2): 200-209.
- Liu Xiaohong, Luo Jinglan, Zhang Shan, et al. Diagenesis and diagenetic facies of gas reservoirs in the upper Paleozoic 8th member of Shihezi Fm. and 2nd member of Shanxi Fm. in Yulin-Shenmu area, Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(2): 200-209.
- [21] 李阳. 惠民凹陷基岩砂体成岩作用及对油气圈闭的影响[J]. *岩石学报*, 2006, 22(8): 2205-2212.
- Li Yang. Sandstone diagenesis and its influences on hydrocarbon traps in Jishan sand-body in Huimin depression, north China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(8): 2205-2212.
- [22] 陈丽华. 任丘油田震旦亚界雾迷山组碳酸盐岩微孔隙的扫描电镜观察[J]. *石油学报*, 1982, 1(1): 19-22.
- Chen Lihua. Micro-pores in carbonate rocks of sub-sinian Wumishan Formation of Renqiu oil field under scanning electron microscopic observation[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1982, 1(1): 19-22.
- [23] Worden R H, Morad S. clay minerals in sandstones: controls on formation, distribution and evolution[J]. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.* 2003, 34: 3-41.
- [24] Hurst A, Nadeau P H. Clay microporosity in reservoir sandstones: an application of quantitative electron microscopy in petrophysical evaluation[J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 79(4): 563-573.
- [25] 赵海玲, 王成, 刘振文, 等. 火山岩储层斜长石选择性溶蚀的岩石学特征和热力学条件[J]. *地质通报*, 2009, 28(4): 412-419.
- Zhao Hailing, Wang Cheng, Liu Zhenwen, et al. Characteristics of petrology and thermodynamics of selective dissolution of plagioclase in volcanic reservoir rocks[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(4): 412-419.