

松辽盆地徐家围子断陷 营城组火山岩储集空间演化

刘为付^{1,2}, 朱筱敏¹

(1. 石油大学 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 2. 大庆石油学院 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要: 松辽盆地徐家围子断陷在营城组火山岩中获得商业气流, 但各井的产量存在较大差异, 这不仅与火山岩的分布有关, 而且还与火山岩储层储集空间的发育程度有关。通过岩心、薄片、扫描电镜等资料的分析研究, 该区主要的储集岩石类型为各类火山熔岩和火山角砾岩, 储集空间有原生和次生两类, 虽然原生储集空间所占比例较小, 但它为后期的改造提供有利条件。火山岩储集空间的发育演化划分出 4 个阶段: 第一阶段为原生储集空间形成阶段, 第二阶段为风化淋滤阶段, 这两个阶段以建设作用为主; 第三阶段为浅埋藏及构造裂隙发育阶段, 建设和破坏作用共存, 但以建设作用为主; 第四阶段为深埋藏阶段, 以破坏作用为主。

关键词: 火山岩; 储集空间; 孔隙; 裂缝; 演化阶段; 营城组; 徐家围子断陷; 松辽盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

我国东部中新代含油气盆地中, 发育各种类型的火山岩^[1~4], 并在这些火山岩中发现了具有商业价值的油气藏^[5~8], 该类油气藏正成为我国中生代盆地勘探的新领域^[9~12]。徐家围子断陷位于松辽盆地北部, 为半地堑型断陷。该断陷的主体位于海西褶皱基底之上, 发育于晚侏罗世, 结束于早白垩世。在断陷发育期, 火山活动强烈。根据火山喷发特征可划分出 3 个火山岩喷发旋回: 下部火石岭期为第一旋回; 中部沙河子期为第二旋回; 上部营城期为第三旋回^[13]。多年的勘探研究表明, 上部营城组火山岩分布广泛^[14]、面积大, 是区内重要的火山岩储层发育层段, 并在 Fs1 井、Zs1 井、Ss1 井、Ss2 井、Ss11 井中获得商业气流(图 1), 显示该区具有广阔的天然气勘探前景, 但各井的产量及储量存在较大差异, 这不仅与火山岩的分布有关, 而且还与火山岩储层储集空间的发育程度有关。本文通过岩心、薄片、扫描电镜等资料的分析研究, 对营城组火山岩储层的储集空间及演化特征进行分析探讨。

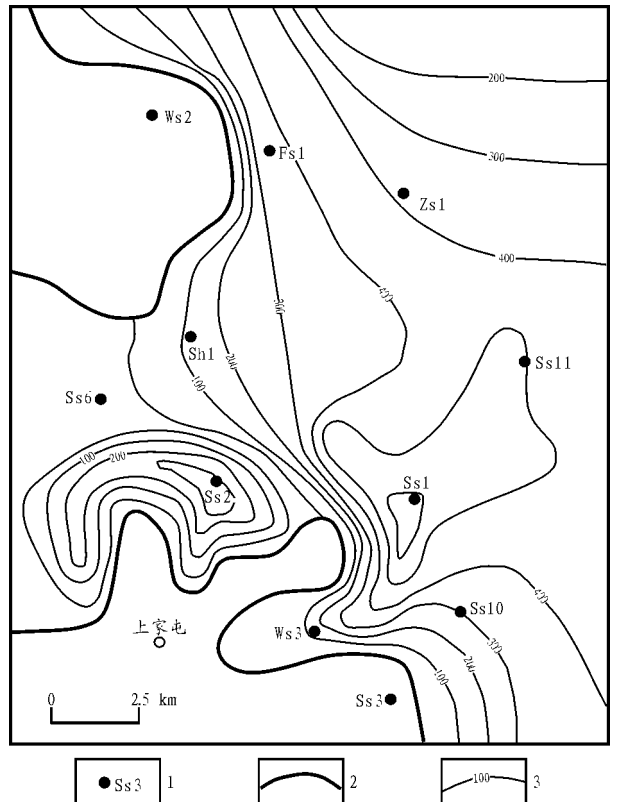


图 1 徐家围子断陷营城组火山岩分布

1. 井号; 2. 断层; 3. 火山岩厚度等值线

Fig. 1 Distribution of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi Fault Depression

1 储层岩性及储集空间特征

1.1 储层岩性特征

徐家围子断陷营城组火山岩岩性按成因可分为

收稿日期: 2004- 10- 15; 修订日期: 2004- 12- 20。

作者简介: 刘为付(1962—), 男(汉族), 山东青岛人, 博士后, 长期从事油气田开发地质和沉积学的研究工作。

基金项目: 国家“973”重大基础研究项目(GB20012091043)。

两类: 火山熔岩和火山碎屑岩。火山熔岩包括玄武岩、安山岩和流纹岩, 在区内分布较广, 各井均有钻遇, 是主要的储集岩类型。火山碎屑岩包括凝灰岩和火山角砾岩。其中火山角砾岩是主要的储集岩类型; 凝灰岩储集物性较差, 没有气显示, 为非储集岩类。

对区内火山岩的垂向组合分析, 归纳出 3 种垂向组合类型: 第一种为多期次连续喷溢, 以致密块状火山岩与气孔、杏仁状火山岩组成多个韵律层(图 2a); 第二种为火山爆发相与溢流相叠置, 由致密块状火山岩、气孔、杏仁状火山岩与火山角砾岩组成多个韵律层(图 2b); 第三种为爆发相、喷溢相与正常沉积岩互层, 由火山碎屑岩、火山熔岩与砂泥岩组成多个韵律层(图 2c)。本区晚侏罗世营城期发生多期次火山喷发, 每次喷发旋回的气孔、杏仁孔发育段既是原生孔隙的发育部位, 也是次生孔隙富集的有利层段, 同时也是储气的有利层位。

1.2 储集空间类型

根据岩心观察、薄片鉴定和测试资料分析, 将徐

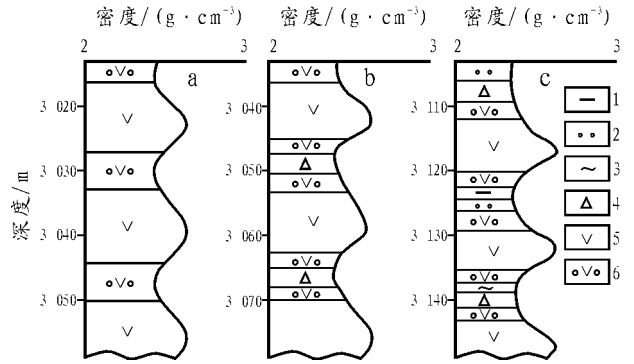


图 2 徐家围子断陷营城组火山岩组合类型

a. Fs1 井; b. Zs1 井; c. Ss1 井

- 1. 泥岩; 2. 砂岩; 3. 凝灰岩; 4. 火山角砾岩;
- 5. 气孔发育安山岩; 6. 致密安山岩

Fig. 2 Combination types of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi Fault Depression

家围子断陷营城组火山岩的储集空间划分为原生和次生两大类, 进一步分为 15 种类型(表 1)。原生储集空间虽然所占比例较小, 但它为后期的改造提供

表 1 徐家围子断陷火山岩储集空间类型及特征

Table 1 Reservoir space types and characteristics of volcanic rocks in the Xujiaweizi Fault Depression

| 储集空间类型 | 形成机理 | 分布特征 | 组合类型 | 充填状况 | |
|--------|--------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 原生孔隙 | 气孔 | 岩浆中气体溢出 | 分布于岩体的顶部, 呈圆形、椭圆形 | 与收缩缝相伴生 | 多见绿泥石半充填, 少量未充填 |
| | 杏仁孔 | 充填后矿物间的孔隙 | 分布于岩体的顶部, 不规则状 | 与溶蚀孔隙相伴生 | 充填—半充填 |
| | 砾间孔 | 堆积和结晶作用 | 分布于角砾岩中 | 与晶间孔、收缩缝相连 | 充填弱, 少量绿泥石及灰泥充填 |
| | 晶间孔 | 矿物结晶作用 | 孔隙较小, 呈多边形 | 与构造缝相边 | 充填—半充填, 取决于孔、缝的连通性 |
| 原生裂缝 | 收缩缝 | 冷凝收缩作用 | 分布于岩体边缘, 呈高一低角度 | 后期被改造为溶缝, 并与溶孔相连 | 充填弱, 少量灰泥充填 |
| | 收缩节理 | 岩体冷凝收缩、破裂作用 | 分布于岩体中 | 与气孔、晶间孔相连 | 充填—半充填 |
| | 颗粒爆炸纹 | 隐蔽爆炸作用 | 分布于岩体中、下部, 呈高角度 | 与原生孔隙相连 | 半充填 |
| 次生孔隙 | 砾间溶孔 | 淋滤、溶解作用 | 分布于角砾岩间, 呈不规则状 | 与溶缝及晶间溶孔相连 | 充填弱—中等 |
| | 晶间溶孔 | 溶解作用和矿物转变作用 | 分布于斑晶间 | 与晶内溶孔相连 | 半充填 |
| | 晶内溶孔 | 溶解作用和矿物转变作用 | 分布于自生矿物晶内 | 与矿物溶缝和砾间溶缝相连 | 充填—半充填 |
| | 脱玻溶蚀孔 | 溶解作用 | 分布于绿泥石、佛石矿物内 | 与收缩缝、溶缝相连 | 半充填 |
| | 蚀变物溶蚀孔 | 矿物溶解作用和矿物转化作用 | 分布于转变的矿物之间 | 与晶间孔、砾间孔、收缩缝相连 | 充填中等 |
| 次生裂缝 | 构造裂缝 | 构造应力作用 | 分布于近断层处, 呈低角度 | 与晶间孔、砾间孔、收缩缝相连 | 中等角度开启或闭合 |
| | 溶蚀缝 | 溶解作用 | 分布广泛, 形态不规则 | 与晶间溶孔、砾间溶孔、构造裂缝相连 | 半充填 |
| | 风化裂缝 | 风化作用 | 分布于岩层表面 | 与溶孔、溶缝、构造裂缝相连 | 充填 |

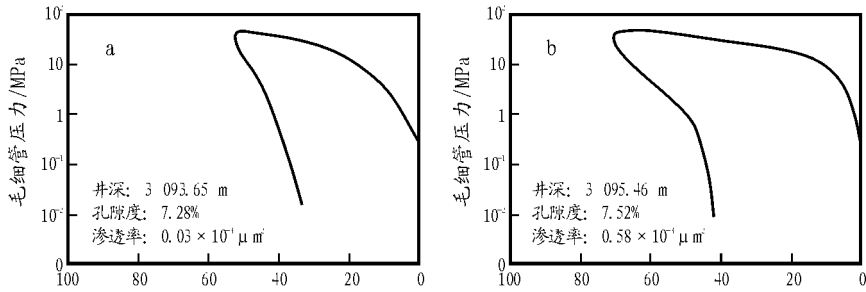


图 3 徐家围子断陷 Fs1 井火山岩储层压汞曲线
a. 溶缝不发育; b. 溶缝发育

Fig. 3 Mercury-injection curves of volcanic rock reservoirs in well Fs1 of the Xujiawezi Fault Depression

有利条件。如风 1 井两个层位岩性类似, 孔隙度差别不大, 但渗透率却相差很大, 研究对比表明前者次生储集空间不发育, 后者次生储集空间发育(图 3)。由此可见, 次生储集空间的发育程度对于本区火山岩储集性能的优劣具有至关重要的作用。

2 储集空间演化

本区火山岩储集空间类型多样, 孔缝成因复杂。火山岩储层中原生孔缝虽然是储集空间形成的前提, 但这些孔缝大多呈孤立状而连通性差, 同时火山岩发育区热流作用较强, 对储层的改造作用较大, 储集空间的形成及其后生演化过程对于寻找有利的气藏区块具有重要的意义。徐家围子断陷营城组火山岩储层的储集空间演化可划分出 4 个阶段。

2.1 原生储集空间形成阶段

第一阶段为原生储集空间形成阶段。火山物质喷出地表后, 冷凝速度较快, 保留了大量的原生气孔和长石等斑晶的晶间结构。本区晚侏罗世营城期火山具有多期次喷发特点, 岩心观察表明, 每个喷发旋回熔岩层具有明显分带性(图 4)。

顶部火山角砾岩带位于熔岩层的顶部, 由自碎的角砾状熔岩构成, 角砾岩气孔发育。岩浆溢出火山口, 在地表上流动, 表面与空气接触, 冷凝快, 首先硬结; 下伏岩浆继续流动, 将这层硬壳戳搓碎, 形成角砾岩带。

上部气孔熔岩带位于火山角砾岩带之下, 气孔发育。气孔常见拉长及定向排列现象, 可指示熔岩流动方向。该带位于熔岩层的上部, 压力小, 岩浆中的气体游离出来形成气孔构造。

中部致密块状熔岩带位于上部气孔熔岩带之下, 熔岩流剖面的中部, 岩性致密, 气孔不发育。该带位于熔岩层的中部, 由于中部岩浆冷凝速度较慢, 压力较大, 气体不易游离, 气孔不发育, 形成致密层。

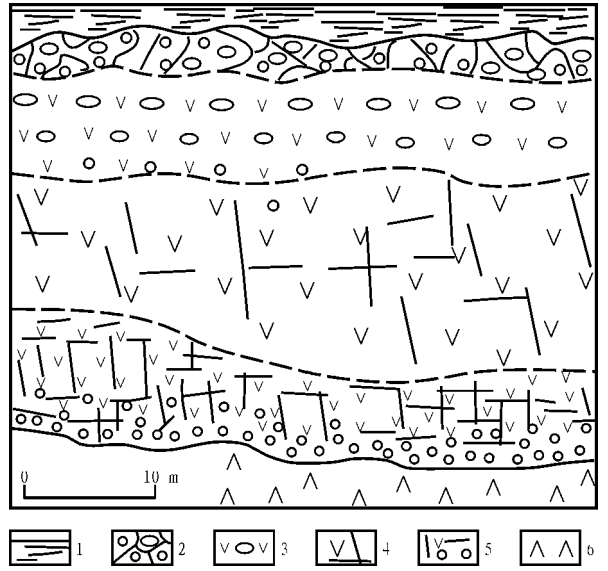


图 4 徐家围子断陷营城组火山岩岩层序

- 1. 凝灰岩带; 2. 火山角砾岩带; 3. 上部气孔熔岩带;
- 4. 中部致密块状熔岩带; 5. 下部气孔熔岩带; 6. 下伏熔岩带

Fig. 4 Lava sequences of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Xujiawezi Fault Depression

气孔熔岩带位于火山角砾岩带之下, 气孔发育。气孔常见拉长及定向排列现象, 可指示熔岩流动方向。该带位于熔岩层的最下部, 气孔发育。由于岩浆在潮湿地面上或在水底流动过程中, 下伏的水分被汽化进入岩流的低部, 形成大量气孔; 气孔呈圆形、椭圆形, 并向熔岩中部减少。

上部、下部气孔带及中部致密块状带中都发育裂缝, 但是中部致密块状带的密度远不及上部和下部气孔带发育。同一熔岩层中不同带的裂缝发育和方向都不一样, 可见裂缝不是构造成因。裂缝从形态上看属于张性缝, 它是岩浆冷凝收缩的产物, 可见裂缝被方解石、玉髓和绿泥石等矿物充填。

熔岩层层序的顶部火山角砾岩带中角砾岩间的孔洞较大, 往往不能完全充填, 一般具有较大的孔隙度和较高的渗透率; 上部及下部气孔状熔岩往往保

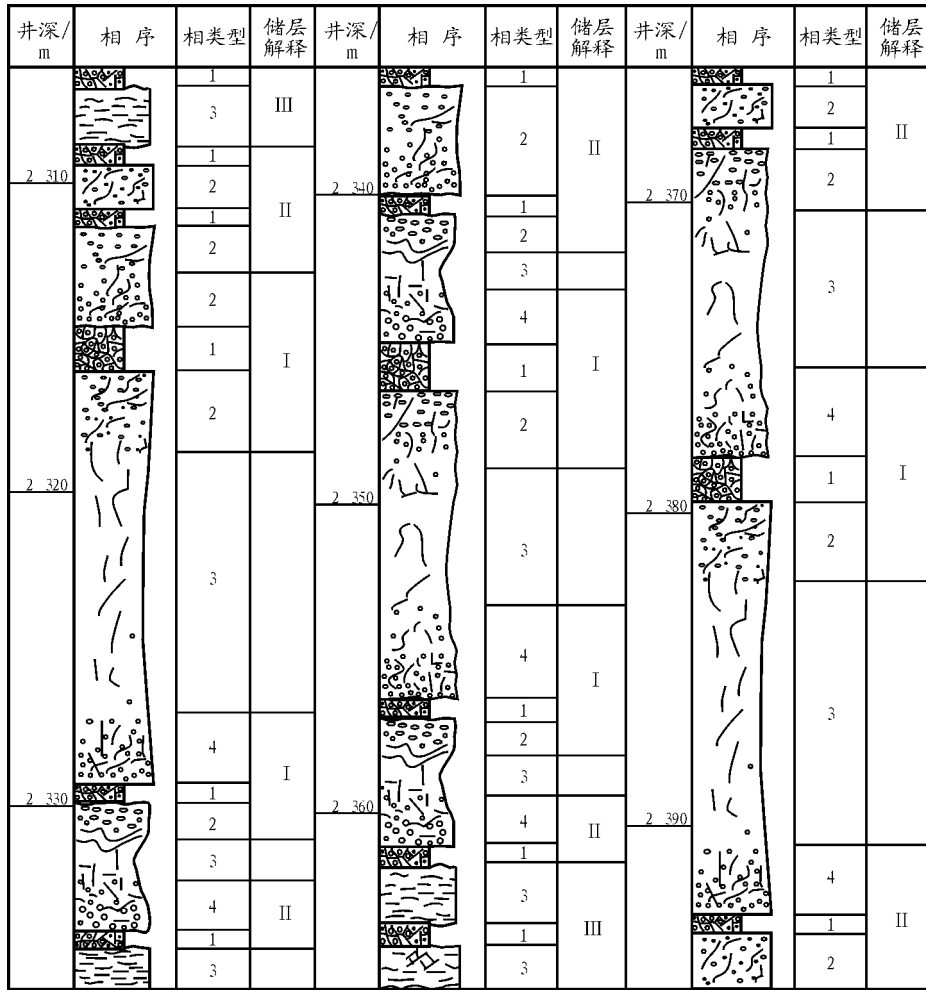


图 5 徐家围子断陷营城组 Ss1 井火山岩层序及储层解释

· 好储层; · 较好储层; · 差储层

1. 顶部火山角砾岩带; 2. 上部气孔熔岩带; 3. 中部致密块状熔岩带; 4. 气孔熔岩带

Fig. 5 Volcanic rock sequences and reservoir interpretation of well Ss1 in the Yingcheng Formation of the Xujiawazi Fault Depression

存部分气孔未被充填,而且这两个带内常常发育收缩缝及各种裂缝,可沟通部分气孔,因此这两个带也常常具有较好的孔渗性;中部致密块状熔岩既不发育气孔,也少见裂缝,一般不能成为有效储层。图 5 是 Ss1 井储层分布与各相带之间的关系。由图可见,熔岩层上部、下部气孔带和火山角砾岩带是本区的有效储层,熔岩层中部致密层因岩性致密未见气显示,为非储层。

在火山岩层的顶部及边部发育收缩缝,并沟通气孔及砾间孔,这些缝为后期的淋滤改造提供了通道和空间。收缩缝是岩浆冷却过程中温度降低或火山岩在成岩过程中脱水所形成的张性缝,本区产状有两种:一种是近垂直方向分布,缝面较平整,在岩心中多呈板状,厚度一般为 1 cm 左右,缝间近平行,垂向延伸距离较长,但常终止于围岩,缝为张性缝;二是近水平方向延伸,其连续性较差,缝的宽度也较

小,岩心中这种缝多被充填,同第一种缝相比发育规模小、数量少,该类缝多形成于成岩作用时期。按收缩缝的分布位置又可分为砾内收缩缝和砾间收缩缝两种。砾内收缩缝分布于火山角砾岩的内部,规模较小,缝宽约 0.2 mm;砾间收缩缝主要是火山角砾岩发生整体收缩而形成的缝,位于粒间充填物与火山角砾岩之间,由此推断该收缩缝形成时间较晚。

本阶段的岩浆期后热液常对岩体进行改造。热液中含有一定量的 Fe^{2+} , Mg^{2+} , Si^{4+} 等离子,在原生冷凝气孔和收缩缝中沉淀形成鳞片状、纤维状等自生绿泥石,使孔隙减少。在火山岩的薄片,含气孔的玄武岩都有被绿泥石充填的现象,有的表现为由气孔的边缘向中心自由生长,呈菊花状、放射状。从成岩分析来看,绿泥石充填在气孔、裂缝中,并且后期又被方解石、沸石交代,但是却从未发现绿泥石交代其它矿物,这说明绿泥石是岩石成岩变化过程中

形成最早的次生矿物,在一定程度上对孔隙起堵塞作用;另外,同生的方解石砾间、晶间胶结物对孔缝也起一定堵塞作用。岩石在成岩变化过程中,热液蚀变作用对储集空间起着很大的破坏作用,在热液上涌的过程中,压力迅速降低,菱铁矿、稀土元素等沉淀。火山热液在地表附近进一步演化是与大气水进一步混合有关的,低温热液矿物沸石析出,充填气孔和裂缝。另外,本区碳酸盐化作用是一种普遍现象,如交代斑晶、交代基质、充填孔缝等。二氧化碳在热水溶液发展的整个时期皆广泛存在,从深部一直到地表附近。由于热液在温度下降和流动过程中逐渐变为碱性,二氧化碳在中、低温热液中溶解度增大,并且以 CO_3^{2-} 离子形式出现,容易与 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} 等离子形成不容易溶解的矿物,表现为碳酸盐类矿物沉淀,并且交代原生矿物。由于二氧化碳在水中的溶解度随压力的减小而减小,在裂缝发育的地方,由于外界压力的降低,引起二氧化碳的逸散,导致碳酸盐矿物在裂缝中的沉淀。可见,热液作用对储集空间主要起破坏作用。当然,孔缝的充填物如果后期发生溶解,也可以形成次生孔隙。

2.2 风化淋滤阶段

第二阶段为风化淋滤阶段。由于表生成岩作用和大气水的淋滤、溶蚀,产生了大量的次生裂隙,同时增加了溶解作用的进行^[15]。风化作用对熔岩的储层物性影响很大。在火山岩中的孔缝最发育带除与构造破碎作用有关外,最重要的就是风化溶蚀带;可以说火山岩的储集物性除与储集空间类型有关外,还与熔岩风化带密切相关。这一阶段为本区孔隙形成的主要阶段。但薄片下也常观察到垂直溶蚀缝壁生长有绿泥石、沸石、石英及方解石等矿物,表明在大气淡水与残余热液混合后,岩体中的硅酸盐矿物及火山灰等物质被改造游离出部分 Si^{4+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} 等离子,形成不易溶解的矿物,它们对孔隙起堵塞作用。本区火山岩淋滤带十分发育,自生矿物含量较高,说明本区火山岩体暴露的时间相对较长。尤其是在局部的火山岩高地上,风化淋滤作用进行得更充分,因此火山高地应是勘探的首选目标。

2.3 浅埋藏及构造裂隙发育阶段

第三阶段为浅埋藏及构造裂隙发育阶段。在断裂发育阶段,常伴有次级的构造缝。构造缝是本区火山岩中分布较广的一种裂缝类型,主要为微裂缝,规模小,形成时间较晚,常切穿气孔,使多个气孔相互连通,从而大大提高了火山岩储层的孔、渗性。

本区火山岩中的构造缝按产状可分为两种:一是高角度倾斜缝,根据地层倾角测井解释和 FMI 成像测井解释结果,裂缝走向与区域断裂的分支断层走向近于一致;二是低角度张开缝, FMI 成像测井中见低角度张开缝被高角度倾斜缝切割的现象,说明低角度的张开缝形成时间早,高角度的倾斜缝形成时间晚,并且前者比后者的规模小得多。根据区域构造应力场分析,认为这种低角度裂缝是由于火山岩在埋藏成岩过程中受到上拱张力作用而形成的。尽管次生裂缝对孔隙度的提高作用不是十分明显,但它可使渗透率提高数 10 倍(图 2)。裂缝为淡水或低温热液的溶蚀提供了渗流通道,加强了溶蚀作用,同时也形成绿泥石、沸石及方解石等矿物。

研究表明,裂缝的丰度与火山岩的厚度成正比关系。结合该区火山岩的产出状况,在岩心薄片观察、试油资料分析的基础上,利用测井解释的裂缝孔隙度与钻遇火山岩的层位进行研究发现,裂缝分布与火山岩相带关系密切:边缘亚相位于火山岩靠近围岩一侧,由于与围岩接触,喷出的岩浆冷却速度快,与沉积岩薄层间互,单层厚度小,不利于构造裂缝的形成;中心亚相位于火山喷发的中央地带,一般厚度大,由于冷凝缓慢,矿物结晶时间充分,岩石具有中一粗晶结构,从处于该相带的岩心资料分析,裂缝发育;过渡亚相位于边缘亚相和中心亚相之间,岩性和结构特征介于二者之间,岩石结晶时间较充分,一般为中粒斑状结构,裂缝较发育。裂缝发育程度除与火山岩的厚度有关外,还与岩石的结构有关。细结构的岩石,岩性致密,不易被后期改造,裂缝不发育;而粗结构的岩石,岩性疏松,后期改造容易,裂缝发育。可见,储层分布与火山岩相带关系密切,好储层主要分布在中心亚相,较好储层主要分布在过渡亚相,边缘亚相为差储层。因此,火山通道附近是本区火山岩最有利的储集相带,是该区进一步勘探的主要目标。

2.4 深埋藏阶段

第四阶段为深埋藏阶段。由于本区地温梯度高,有机质热成熟较早,烃源岩的高成熟期发生于嫩江期之后,有机酸性水沿火山岩体裂缝渗入到岩体之中发生深部溶蚀作用。镜下可见到含有残余沥青的溶解边缘有早期沉淀的方解石被溶解为锯齿状。同时,由于水体的混合和循环不畅,在部分孔缝之中形成沸石、方解石及石膏、硅质等矿物充填。

上述火山岩储集空间的 4 个演化阶段中,前 3 个阶段对储集空间的形成起主要作用。其中,第一、第二阶段以建设性作用为主;第三阶段虽以建设作

用为主,但大量淡水方解石、沸石的沉淀对原生孔隙也有较强的破坏作用;第四阶段以破坏作用为主。

3 结论

1) 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩分布广泛,目前在火山岩中获得商业气流,主要的储集岩石类型为各类火山熔岩和火山角砾岩。储集空间有两类:原生和次生。虽然原生储集空间所占比例较小,但它为后期的改造提供有利条件。

2) 该区火山岩储层非均质严重,各井的产量及储量存在较大差异。这不仅与火山岩分布有关,而且还与火山岩储层储集空间的发育演化程度有关。通过岩心、薄片、扫描电镜等资料的分析研究,对营城组火山岩储集空间的演化进行了分析和探讨,划分出 4 个演化阶段。第一阶段和第二阶段对储集空间的形成以建设性作用为主;第三阶段建设作用和破坏作用共存;第四阶段以破坏作用为主。

参考文献:

1 Lao Jinglan, Zhang Chengli, Qu Zhuhao. Volcanic rocks reservoir characteristic in Fenghuadian area, China [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1999, 22(4): 397~ 415
 2 郭齐军. 火山岩储集层的研究——以北堡地区为例[J]. *石油实验地质*, 1997, 19(4): 337~ 441

3 Chen Zhenyan, Yan Huo. Relation between Tertiary volcanic rocks and hydrocarbon in Liaohe, Peoples Republic of China [J]. *AAPG Bull.*, 1999, 83(6): 1 004~ 1 014
 4 刘泽容, 信荃麟. 山东惠民凹陷西部第三纪火山岩油气藏形成条件与分布规律[J]. *地质学报*, 1998, 62(3): 210~ 222
 5 操应长, 姜在兴, 丘隆伟. 山东惠民凹陷商 741 块火成岩油藏储集空间类型及形成机理探讨 [J]. *岩石学报*, 1999, 15(1): 129~ 136
 6 高山林, 李学万, 宋柏荣. 辽河盆地欧利坨子地区火山岩储集空间特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(2): 173~ 177
 7 刘为付, 刘双龙, 孙立新. 三塘湖盆地二叠系火山岩储层特征 [J]. *新疆石油地质*, 2000, 21(6): 483~ 486
 8 郭占谦. 从全球油气田分布看我国东南沿海火山岩覆盖区的含油气前景 [J]. *石油实验地质*, 2001, 23(2): 122~ 126
 9 唐建仁, 刘金平, 谢春来. 松辽盆地徐家围子断陷的火山岩分布及成藏规律 [J]. *石油地球物理勘探*, 2001, 36(3): 345~ 351
 10 徐刚, 王兴谋, 丘隆伟等. 惠民凹陷商 741 井火山岩储集层研究 [J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 99~ 102
 11 邱隆伟. 辽河盆地东部凹陷火山岩油藏类型及成藏条件研究 [J]. *石油实验地质*, 2003, 25(3): 390~ 394
 12 罗静兰. 辽河盆地兴隆台潜山变质岩—火山岩油藏烃类注入史及其成藏模式 [J]. *石油实验地质*, 2004, 26(3): 249~ 253
 13 刘为付, 刘双龙, 孙立新. 莺山断陷火山岩储层特征 [J]. *大庆石油勘探与开发*, 2000, 21(4): 9~ 11
 14 刘为付, 刘双龙, 孙立新. 松辽盆地莺山断陷火山岩地震反射特征及分布规律 [J]. *石油实验地质*, 2000, 22(3): 256~ 259
 15 金强. 无机与有机混合成因的天然气藏 [J]. *矿物岩石*, 1999, 19(3): 41~ 44

RESERVOIR SPACE EVOLUTION OF VOLCANIC ROCKS IN THE YINGCHENG FORMATION OF THE XUJIAWEIZI FAULT DEPRESSION, THE SONGLIAO BASIN

Liu Weifu^{1,2}, Zhu Xiaomin¹

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. School of Geosciences, Daqing Petroleum College, Daqing, Heilongjiang 163318, China)

Abstract: Commercial gas streams were obtained from volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi Fault Depression, the Songliao Basin, but the output of each well was different. It was not only related to the distribution of volcanic rocks, but also related to the developing degree of accumulating spaces in volcanic rock reservoirs. The study of core, thin section and scanning electron microscope data showed that the main accumulating rock types of the study area were various volcanic lava and volcanic breccia, and the accumulating spaces included primary and secondary two kinds. Though the primary accumulating spaces took the small proportion, they provided favorable conditions for post reconstruction. The development and evolution of volcanic rock accumulating spaces can be divided into four stages. The first is the forming stage of primary accumulation spaces, and the secondary is weathering and leaching stage. These two stages are dominated by construction. The third is shallow-burying and structural fracture developing stage, with coexisting of construction and destruction, but dominated by construction. The fourth is deep-burying stage, which is dominated by destruction.

Key words: volcanic rock; accumulating space; pore; fracture; evolutionary stage; the Yingcheng Formation; the Xujiaweizi Fault Depression; the Songliao Basin