

文章编号: 1001-6112(2011)03-0239-05

长岭断陷火山岩储层形成及控藏作用

徐宏节¹, 陆建林², 于文修², 王保华²

(1. 中国石化 东北油气分公司, 长春 130062;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:长岭断陷火山岩厚度大, 岩石类型多, 相态类型齐全, 储层发育。火山岩储层不受理深限制, 在深断陷具有良好储集能力, 高孔低渗、低孔高渗特色明显; 储集空间类型以气孔、溶蚀孔隙及与裂缝的组合为主, 裂缝的存在改善了储层的渗流能力; 储层类型以双孔双渗为主, 少数具有似均质渗流等特征。火山岩优质储层的形成受多重因素控制, 有利相带是火山岩储层发育的基础, 构造运动是储层形成的关键, 风化淋滤及溶解作用是优质储层形成的重要条件。发育在断裂带附近构造高部位的火山岩构成藏条件较为有利。

关键词:火山岩; 火山岩相; 储层特征; 控藏作用; 长岭断陷

中图分类号: TE122.2+22

文献标识码: A

Formation of volcanic reservoir and its controlling on accumulation in Changling Fault Depression

Xu Hongjie¹, Lu Jianlin², Yu Wenxiu², Wang Baohua²

(1. Northeast Branch Company, SINOPEC, Changchun, Jilin 130062, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: In the Changling Fault Depression, volcanic rock formation is very thick. There are various types and facies of rock. Reservoirs are well-developed. The storage capacity of volcanic reservoir is not restricted by burial depth. It is favorable for reservoir in deep fault depression, characterized by high porosity and low permeability or low porosity and high permeability. Reservoir space is mainly composed of bubble pore, solution pore, fissure and their combination. Fissures improve the seepage ability of reservoir. "Double porosities and double permeabilities" is the main reservoir type. Some reservoirs have homogeneous porosity and permeability. The formation of good volcanic reservoir is controlled by multiple factors. Favorable facies belt is the foundation. Tectonic movement is the key. Weathering leaching and dissolving also play important roles. The volcanic reservoirs near to the high position of tectonic fault are favorable for accumulation.

Key words: volcanic rock; volcanic facies; reservoir characteristics; accumulation-controlling effect; Changling Fault Depression

长岭断陷位于松辽盆地中央断陷带中南部, 断陷层系火山岩发育, 火山岩由于缝洞及气孔发育, 储集性能好, 是断陷层的主要储层, 也是主要勘探目的层系。长岭断陷中石化探区已有近 30 口井钻遇火山岩, 各类火山岩均有发育, 构成了深层主要储层。前人研究表明^[1-5], 该区火山岩储层中油气资源丰富。但目前该地区勘探程度较低, 有必要对火山岩储层的特征进行较系统的阐述和研究探讨, 以期进一步提高对火山岩储层的认识。

1 火山岩储层基本特征

1.1 岩性岩相特征

已钻遇的火山岩包括火山熔岩、火山碎屑岩、侵入岩(次)和火山沉积岩等。

火山熔岩从基性的玄武岩、中性的安山岩到酸性的流纹岩、英安岩等均有发育。中基性熔岩大都位于钻遇层位的中下部, 酸性熔岩主要位于钻遇层位的上部。目前勘探获得突破的主要岩类是位于

收稿日期: 2011-03-28; 修订日期: 2011-05-27。

作者简介: 徐宏节(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 从事石油地质综合研究及科研管理工作。E-mail: ssmoney@vip.sina.com。

营城组上部的酸性流纹岩。

火山碎屑岩主要包括凝灰岩和火山角砾岩。本区大部分探井大都见到凝灰岩,最大单井连续钻遇厚度达 475 m(YN1 井),可见喷发强度之大。火山角砾岩在查干花东部斜坡普遍发育,是高强度中心式火山喷发的典型产物。和流纹岩一样,位于营城组上部的凝灰岩是目前获得突破的主要储层段。

酸性和基性侵入岩类(次火山岩类)在本区均有发育。查干花地区在营城组末期发生大规模的酸性岩浆侵入事件,在营城组底部形成大面积连片分布的侵入岩体(花岗斑岩),形成底劈构造,对该地区天然气成藏起到一定的破坏作用。

火山沉积岩主要位于火山机构边缘较低部位。本区在 DB10, DB14 等井中见到火山沉积岩;DB10 井累计厚度达 218 m,主要为沉凝灰岩、沉火山角砾岩。

长岭断陷火山岩分为 5 种相,即爆发相、溢流相、火山沉积相、次火山岩相、火山通道相^[6]。

溢流相、爆发相是长岭断陷各个喷发旋回的主要组成部分,是长岭断陷的主要岩相类型,易形成好的储层。尤其在 YS1, YS101, YS102 等井已发现高产气流。

火山沉积相主要在火山活动间隙阶段形成。DB10 和 DB14 井为水携型喷发—沉积岩。这类岩石易于形成各种溶蚀孔隙,也应是一种潜在的储集层。

火山通道相位于连接岩浆房和地表的孔道中。主要为火山喷发物混杂堆积,熔结程度高,与周围岩层大部不直接连通,难以成藏,如腰南 1 井、DB10 井。

1.2 储集空间特征

火山岩储集空间类型多样,按成因分,火山岩储集空间可分为原生储集空间和次生储集空间 2 大类^[7-8]。原生储集空间是指岩浆熔结、冷凝成岩过程中产生的各种裂缝和孔隙,主要包括气孔、晶间孔、原生解理缝、粒间孔和收缩缝等;次生储集空间是指岩浆冷却后,遭受风化淋滤、溶蚀、构造应力、热液蚀变等外力作用而形成的储集空间,主要包括各种构造裂缝、溶蚀孔、缝等。有效火山岩储层的储集空间的 70%~95% 由孔隙构成,30%~5% 由裂缝构成。不同类型火山岩的残留原生孔隙加次生(演化)孔隙构成了多种多样的油气储集层。

流纹岩类主要发育的孔隙类型有气孔、斑晶内溶孔和杏仁体内孔,其次是斑晶内溶孔、和杏仁体内溶孔。主要发育的裂缝有构造缝和收缩缝,还见有层间缝、风化溶蚀缝。主要孔缝组合类型有气孔

+溶蚀孔+裂缝型、气孔+裂缝型。

凝灰岩中气孔、裂缝发育,以断续的片状构造缝为主兼有细小星点状晶间缝,有时具溶蚀缝孔洞,形成串珠状孔隙空间;凝灰质熔岩为小型气孔、构造裂缝及微溶孔。火山角砾岩类以构造裂缝和溶蚀扩大的孔、洞、缝构成的多样化联合式储集空间为特征,属于火山口相的岩性特征。

侵入岩岩石致密,孔隙不发育,局部裂缝可以较发育。

1.3 物性特征

火山岩储层物性受控于多种因素,控制因素复杂。对长岭断陷钻遇火山岩的取样分析表明其孔隙度变化较大,所测样品有效孔隙度最小值 0.28%,最大值 29.06%,平均 5.472%;渗透率变化范围很大,有的甚至相差几个数量级,有效渗透率最小值 $0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 或未检出,最大值 $19.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.756 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,大部分样品渗透率值都较小,基本上属于低孔低渗—特低孔渗储层。

从火山岩物性关系图来看(图 1a),孔隙度和深度没有明显的相关性,孔隙度和渗透率不随深度变化,这是火山岩和碎屑岩储层最明显的区别之一。

储层岩石的孔隙度和渗透率受许多因素制约,两者之间有一定的关系,但不是简单的正相关性,存在高孔低渗和低孔高渗现象(图 1b)。主要是由于火山岩储集空间具有较强的非均质性,原生储集空间大都孤立、互不连通,大量发育的孔隙如果没有裂隙的沟通,难以形成有效的储层。

孔隙度与岩石密度有很好的负相关性(图 1c);渗透率与岩石密度有一定关系,总体上看随着岩石密度的增大渗透率有减小的趋势,但各种裂缝的参与又使两者之间的相关性变得复杂(图 1d)。总体上看,岩石密度越小,对应储层的物性越好。不同岩性的火山岩孔隙度都可以很发育,但孔隙较发育的火山岩渗透率不一定大,这与火山岩的分布位置和裂缝的发育程度有关。

1.4 孔喉特征

火山岩属于非颗粒支撑岩石,与颗粒支撑的碎屑岩有本质的不同,其孔喉结构具有明显的特征。根据部分样品压汞数据统计分析,长岭断陷营城组火山岩排驱压力较高,为 0.123~45.804 MPa,均值为 9.418 MPa;中值压力较高,介于 0.444~105.9 MPa,平均值为 43.737 MPa;最大连通半径较小,为 0.016~5.985 μm ,均值为 0.396 μm ;中值半径较小,为 0.005~1.657 μm ,平均值为 0.105 μm ;微观均质系数大部分小于 0.5。总体上表现为排驱压力

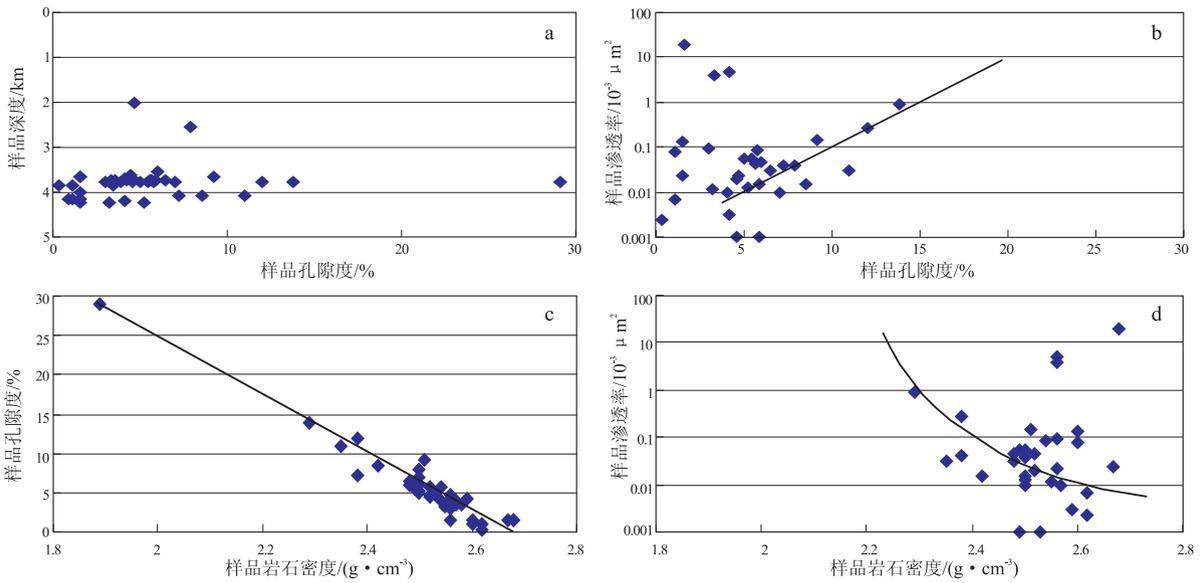


图 1 长岭断陷营城组火山岩样品深度—孔隙度—渗透率—岩石密度关系

Fig. 1 Relationship between depth, porosity, permeability and density of volcanic rock samples from Yingcheng Formation, Changling Fault Depression

较大,压汞曲线中间平缓段较短,曲线向左下方凸出不明显,孔喉半径较小,主要喉道可能是沟通孔隙的微裂缝,孔喉的连通性、储集性及渗流能力较差,非均质性强。

1.5 储层类型

火山岩储层是一类特殊储层,孔隙度差异变化大,大部分孔隙为孤立孔隙或局部连通、微连通孔隙,主要的渗流通道为裂缝,裂缝起到主要的渗流作用,是一类双重介质储层,因此,火山岩储层的测试曲线应该表现为双孔双渗特征。可通过试井分析研究储层类型和渗流特征。

图 2 为长岭断陷部分井测试渗流特征曲线(数据来自中石化东北分公司和华东分公司测试报告)。从图 2 中可以看出,各井双对数径向流曲线呈“V”字形(YS1 井除外),储层均具有典型的双重孔隙特征。

但也会出现类似于均质气藏渗流特征的压力恢复曲线,如图 2 中 YS1 井压力恢复曲线,从 2006 年到 2007 年的 2 次测试中均表现为均质气藏的渗流特征,这和预想的情况不符。因为裂缝的渗流是存在的,所以,曲线表现出这样的特征。只有一种情况即孔隙渗流的作用很小,远远小于裂缝的渗流贡献,气藏范围内主要靠裂缝起渗流作用,所以表现出由裂缝渗流占主导作用的“似均质渗流特征”。

2 火山岩储层形成特征

依据火山岩储层形成过程特征,可将火山岩储层的形成分为 2 个主要阶段:初始成岩阶段及成岩后生阶段^[8]。初始成岩阶段指地下岩浆酝酿喷发到喷发至地表冷凝成岩,形成固态火山岩的阶段,形成原生孔隙;成岩后生阶段则包括岩浆成岩后,在漫长的地表或埋藏过程中所发生一切作用和变

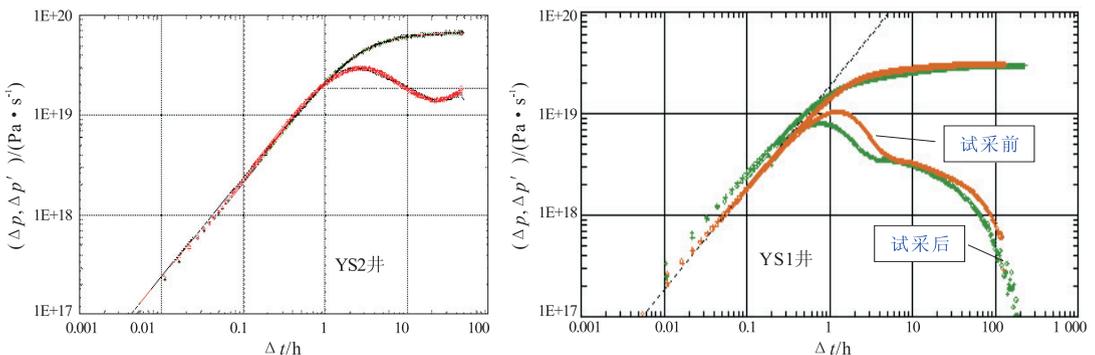


图 2 长岭断陷部分探井试井解释双对数典型曲线

Fig. 2 Log-log curves of well testing interpretation of wells in Changling Fault Depression

化的阶段,形成次生孔隙。初始成岩阶段主要受控于岩浆冷凝过程各类火山作用。

2.1 火山作用

火山作用阶段的成岩作用包括气体逸散作用、熔结作用、晶体溶蚀作用、岩流破裂作用、晶体破碎作用等;产生的储集空间主要包括气孔、熔孔、晶间孔、原生解理缝、粒间孔和收缩缝、淬火缝等。其中以挥发分逸散作用和熔结作用为主,主要形成气孔和粒间孔等原生孔隙。

对于较厚的熔岩层或火山碎屑岩层,由于成岩是跟外界的接触程度不一样,气孔发育程度存在较大的差异性。一般在岩层上部气孔发育,中部气孔数量明显减少,到底部很少有分布。对碎屑岩岩层,不同部位熔结程度不同,粒间孔发育程度不同;熔结程度高时可使孔隙完全消失,低熔结程度使粒间孔发育。对于凝灰岩层其顶面和底面降温快,熔结程度低,易于形成好的储层。

原生裂缝是火山作用阶段形成的重要储集空间,主要包括晶体微裂隙、冷凝收缩缝、节理等。冷凝收缩缝是由于温度变化使岩石体积收缩形成的,能连通气孔和其它孔隙,共同形成很好的储集空间系统,在薄片上较普遍。

2.2 成岩后生作用

成岩后生作用过程主要包括溶蚀作用、风化淋滤作用和构造运动等,不同的作用过程对孔隙空间产生不同的影响,这一过程在很大程度上改变了火山岩的储集特性。

溶蚀作用是决定原生孔隙是否具有储集性的关键因素。由于火山岩中不稳定组分(如长石斑晶、黑云母等)、成岩碳酸盐等易溶胶结物在火山热液和生排烃过程中形成的酸液等的作用下,溶蚀形成许多次生晶内与粒间溶孔,加强了孔隙之间的连通性,在一定程度上改善了原生孔隙,使火山岩的物性得到根本的改善。

水上喷发的古火山机构形成之初,大都处于暴露状态,易遭受风化剥蚀和淋滤作用,形成风化溶蚀孔、缝,从而对火山岩储集性能有较大的改善作用。特别是位于构造高部位的火山机构,顶部岩层的储集性能一般较好。腰英台为古隆起,古构造高度比东侧查干花地区高出近 300 m,风化程度明显要高,长期风化剥蚀使腰英台地区物性明显好于其它地区,孔隙度可达 28% 左右,而东侧所钻探井孔隙度基本都小于 7%。

流纹岩储层在成岩演化过程中,流纹质玻璃发生脱玻化作用,形成球状、放射状或纤维状的长英质

矿物,在岩石中出现相当数量的微孔隙。脱玻化作用形成的微孔隙可占岩石孔隙的 20%~70%^[9]。

在成岩后生作用过程也存在较强的破坏作用,如重结晶和晶体充填作用。当温压条件发生变化,孔洞中的矿物质发生重结晶作用,从热液中析出,形成长石和石英晶体,这些晶体生长在孔洞和缝之中,占据了一定的孔隙空间,降低了储集空间。

2.3 构造作用

刚性的火山岩地层极易在各种外力的作用下破裂,特别是受长期构造运动影响,形成多期的、不同规模、不同层次的裂缝,甚至是规模性的断裂^[10-11]。由于裂缝连通了孤立的原生气孔,从而使气孔变为有效孔隙,使储集性能大大改善。各种类型的裂缝在本区各类火山岩中广泛存在,极大地增加了储层的渗透性。但早期的裂缝大都被充填,晚期的开启性裂缝起到主要渗流和储集作用。

3 火山岩储层分布特征及控藏作用

3.1 火山机构分布特征及对储层的控制作用

利用地震和钻井资料对火山岩地层进行了喷发旋回和期次的划分,不同旋回火山喷发特点有差异,既有爆发式喷发、溢流式喷发,也有混合式喷发。整个营城期从早期到中晚期火山爆发次数和爆发强度增加,火山活动有逐渐加强的特点,但中期有火山活动间隙阶段。在营城末期形成了以厚层的凝灰岩和流纹岩为主的火山岩地层;不同地区火山喷发旋回和期次有较大差异,形成复杂的火山岩地层组合。

在旋回划分的基础上对火山机构分布进行了研究,结合野外地质考察、火山地质研究和详细的地震剖面分析,编制了火山机构分布图。这些火山活动形成的大小不等的多个火山机构,横向并列,相互叠置,结构复杂,形成巨厚的连片分布的火山岩地层。

火山机构确定了有效储层在其中的空间分布范围,火山机构中的火山活动旋回(期次)和其控制各类火山岩相决定了其中火山岩储层的分布。

在以上研究的基础上,结合裂缝发育程度、储层形成机理和火山岩相的研究,综合确定了研究区的有利储层分布(图 3)。

3.2 储层分布特点及控藏作用

长岭断陷营城组火山岩平面上厚度和物性变化均很大。一般在火山口附近物性好,孔隙和裂缝均较发育;而向火山体边缘地区,厚度和物性均较差。

在纵向上,每一个旋回(4级)或期次的溢流相

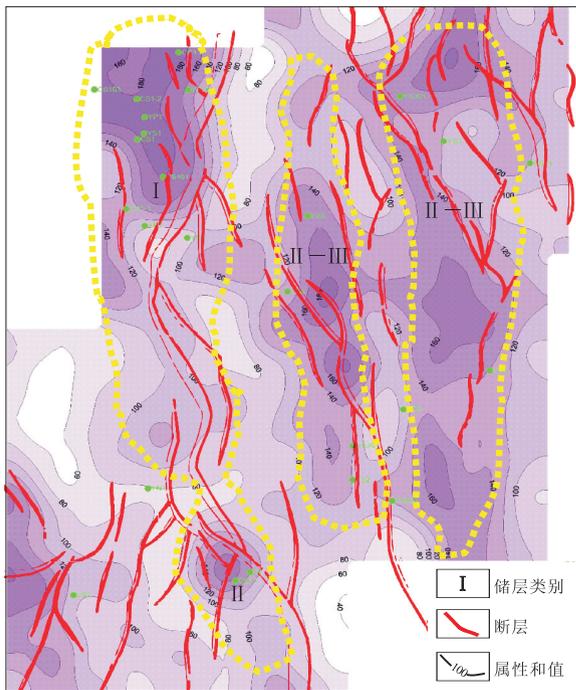


图3 长岭断陷腰英台—查干花地区有利储层分布示意
Fig.3 Distribution of favorable reservoirs in Yaoyingtai—Chaghanhua region, Changling Fault Depression

的上部微相和爆发相的上部和下部微相均是非常有利的勘探层位,不同相带之间的不整合面为有利储层发育部位。

风化淋滤作用对长期暴露的火山机构具有非常强的改造作用,处于古构造高点的火山机构顶部的火山岩地层是有利的储层发育带,如腰英台构造。

火山储层非均质性强,沟通火山岩储层和烃源的裂缝的发育非常重要,没有这类裂缝储层可能是无效储层。因此,与断裂具有良好组合关系的火山岩圈闭在油气运移充注和裂缝发育程度上具有明显的优势。

4 结论及建议

1)长岭断陷火石岭组和营城组各类火山岩发育,分布面积广、厚度大,有利于形成有效的火山岩

储层,不同性质的断裂控制了不同的火山喷发类型和不同性质火山岩的分布。

2)火山岩储层不埋深限制,在深断陷具有良好储集能力,高孔低渗、低孔高渗特色明显;储集空间类型以气孔、溶蚀孔隙及与裂缝的组合为主,裂缝的存在改善了储层的渗流能力;储层类型以双孔双渗为主,少数具有似均质渗流等特征。

3)火山岩优质储层的形成受多重因素控制,有利相带是火山岩储层发育的基础,构造运动是储层形成的关键,风化淋滤及溶解作用是优质储层形成的重要条件。

4)发育在断裂带附近构造高部位的火山机构成藏条件较为有利。

参考文献:

- [1] 王德喜,陆建林. 长岭断陷东部地区火山岩形成的构造控制作用研究[J]. 石油实验地质,2010,32(2):115—119.
- [2] 秦伟军,郭金瑞. 松辽盆地南部断陷层油气勘探领域[J]. 石油实验地质,2010,32(4):326—329.
- [3] 吴群,周荔青. 松辽盆地长岭断陷东部大中型火山岩(油)气田形成分布特征[J]. 石油实验地质,2009,31(1):40—45.
- [4] 谢忱,胡纯心. 松辽盆地长岭断陷南部天然气成藏与富集特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(3):381—385.
- [5] 王大华,肖永军,徐佑德,等. 松南长岭断陷查干花地区火山岩储层特征及影响因素[J]. 油气地质与采收率,2010,17(6):39—42.
- [6] 张玉明,陆建林,李瑞磊,等. 盆地油气储层研究中的火山岩相划分探讨[J]. 石油实验地质,2010,32(6):532—535.
- [7] 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.
- [8] 陆建林,张玉明,徐宏节,等. 松辽盆地长岭断陷火山岩储层形成特征研究[J]. 石油实验地质,2009,31(5):441—448.
- [9] 赵海玲,黄薇,王成,等. 火山岩中脱玻化作用及其对储层的贡献[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):47—58.
- [10] 闫林,周雪峰,高涛,等. 徐深气田兴城开发区火山岩储层发育控制因素分析[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(2):9—13.
- [11] 刘为付. 松辽盆地徐家围子断陷深层火山岩储层特征及有利区预测[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):115—119.

(编辑 徐文明)