

文章编号:1001-6112(2011)02-0177-05

长岭断陷营城组火山岩储层物性及影响因素研究

张彦霞,王保华,陆建林

(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:长岭断陷营城组火山岩是该区增储上产的重要领域。通过对火山岩储层物性、孔隙结构、渗流特性等方面的分析研究,认为该区火山岩储层基本上属于低孔低渗—特低孔渗储层,火山岩气藏范围内以裂缝渗流为主;火山岩岩性、岩相及成岩后生作用是影响其物性好坏的主要因素。在成岩后生作用阶段形成各种次生孔隙和裂缝,对储集空间的形成改造以及储集性能的改善起关键作用。

关键词:影响因素;物性特征;储层;火山岩;长岭断陷

中图分类号:TE122.2⁺22

文献标识码:A

Physical properties and influencing factors of volcanic rock reservoir, Yingcheng Formation, Changling Fault Depression

Zhang Yanxia, Wang Baohua, Lu Jianlin

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

Abstract: Volcanic rock of the Yingcheng Formation in the Changling Fault Depression has made great contribution to increase reserve and production. Based on analyses of physical property, pore structure and seepage characteristics of volcanic rock reservoir, it has been concluded that volcanic rock reservoir in the region has low and extra-low porosity and permeability. Fracture seepage dominates in gas reservoir. Lithologic property, lithofacies and epigenesis effect of volcanic rock are the main controlling factors for physical property. Secondary pores and fractures generated during epigenesis, and were the key factors for reservoir deformation and improvement.

Key words: influencing factor; physical property characteristics; reservoir; volcanic rock; Changling Fault Depression

随着火山岩油气藏勘探开发不断取得突破性进展,火山岩储层研究也越来越受到重视,业已成为油气勘探的一个新领域^[1-3]。长岭断陷位于松辽盆地南部,断陷层系的营城组火山岩十分发育。近些年来,长岭断陷有多口探井在营城组火山岩中获得高产工业气流,揭示了断陷层巨大的勘探潜力。长岭断陷火山岩勘探程度相对较低,对火山岩储层的分析评价工作开展得较少,本文从火山岩储层的物性及其与岩性、岩相及成岩后生作用等的关系方面进行探讨研究。

1 储集物性及渗流特性

1.1 物性特征

长岭断陷营城组火山岩孔隙度变化较大,所测样品有效孔隙度最小值 1.5%,最大值 29.06%,平

均 6.3%;渗透率变化范围更大,甚至相差几个数量级,所测样品有效渗透率最小值 $0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大值 $19.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.86 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,大部分样品渗透率值都较小。相对于常规碎屑岩来讲,研究区绝大多数火山岩样品的孔隙度和渗透率值都偏低,基本上属于低孔低渗—特低孔渗储层。

从营城组火山岩物性关系图来看(图 1),孔隙度和埋藏深度没有明显的相关性。碎屑岩的孔隙度一般随埋藏深度的增大而减小,而火山岩由于硬度较大,更能承受上覆地层的压力,火山岩的孔隙度和渗透率一般不会随着埋藏深度的增加而减小。孔隙度与岩石密度有很好的负相关性,渗透率与岩石密度有一定关系,随着岩石密度的增大渗透率有减小的趋势(图 1)。

火山岩储层的孔隙度和渗透率受许多因素制

收稿日期:2010-10-18;修订日期:2011-03-07。

作者简介:张彦霞(1972—),女,工程师,主要从事油气地质研究工作。E-mail:zyxrmd_syky@sinopec.com。

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技部项目(P03065)。

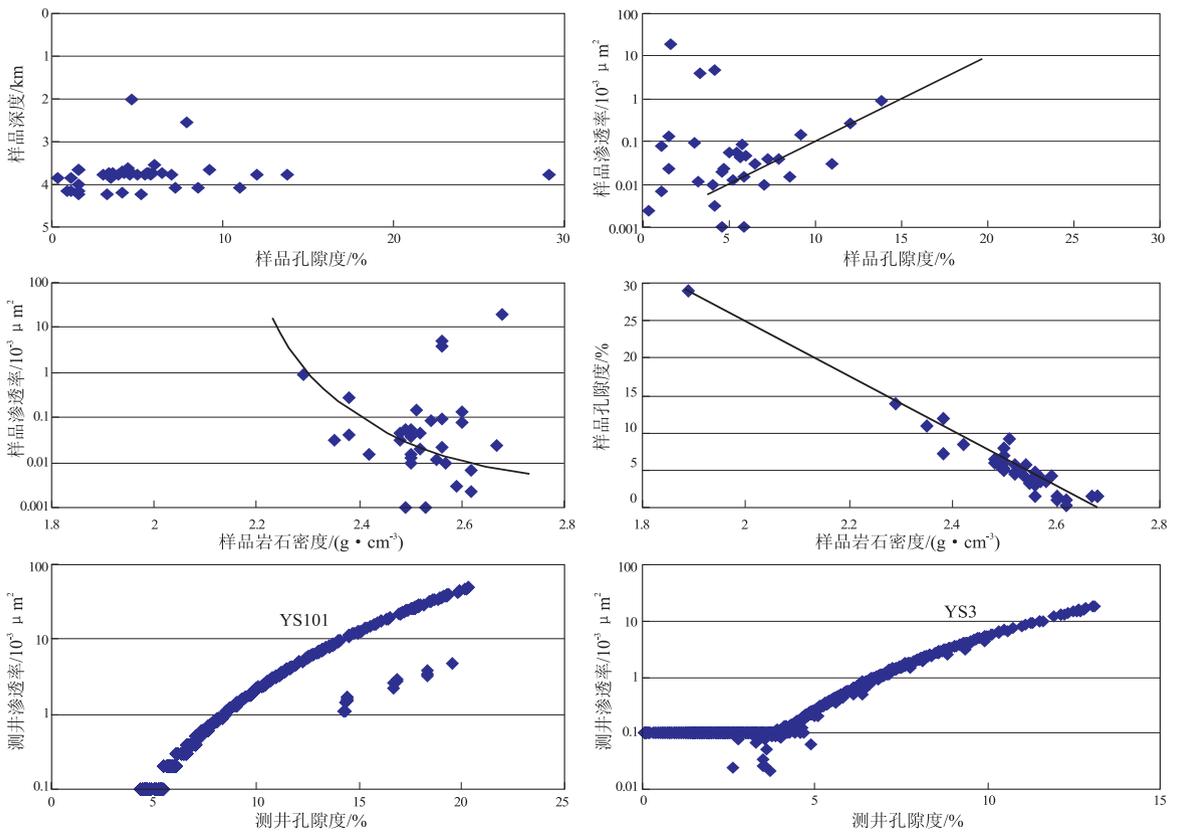


图 1 长岭断陷营城组火山岩物性关系

Fig. 1 Physical property of volcanic rock, Yingcheng Formation, Changling Fault Depression

约,两者之间的关系较为复杂。统计结果显示(图 1),一般在孔隙度小于 5%时,随着孔隙度的增大,渗透率的变化没有规律性,甚至会出现一个平台;当孔隙度大于 5%时,孔隙度与渗透率之间有很好的正相关性。由于火山岩储集空间结构的特殊性造成某些原生气孔和杏仁孔是孤立、互不连通的,这是造成某些火山岩孔隙度大但渗透性却很差的主要原因^[4-5]。老黑山玄武岩岩层某样品气孔高度发育,其孔隙度达到 72.67%,但渗透率仅有 $0.025 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。大量发育的孔隙如果没有裂隙的沟通,即使孔隙再发育,也难以形成有效的储层,这是火山岩储层和碎屑岩储层重要的区别之一。各种裂缝的参与又使孔隙度和渗透率两者之间的相关性变得复杂化,YS102 井凝灰岩地层某样品测试孔隙度仅 1.6%,渗透率却达到了 $19.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。可见各种裂缝、裂隙在火山岩成藏中有着举足轻重的作用,充分表明火山岩储层的复杂性。

1.2 孔隙结构特征

压汞法所测得的毛细管压力曲线一直是储层孔隙结构研究的重要手段^[6],这一方法主要用于对碎屑岩储层的研究。本文尝试从这一方面对火山岩储层的微观结构作进一步探讨。由于火山岩储

层是一种非颗粒支撑的非均质性储层,压汞法所测得部分参数如分选系数、相对分选系数等没有实际意义,微观均质系数供参考。

测试样品排驱压力较高,介于 0.12~29.54 MPa 之间,均值为 6.61 MPa;中值压力较高,介于 0.44~82.83 MPa 之间,均值为 27.87 MPa;最大连通半径较小,介于 0.03~5.99 μm 之间,均值为 0.48 μm ;中值半径较小,介于 0.01~1.66 μm 之间,均值为 0.13 μm ;微观均质系数绝大部分小于 0.5。总体上讲,所测试的火山岩样品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,火山岩储层孔喉的连通性、储集性及渗流能力较差。

通过对营城组火山岩储层样品毛细管压力曲线和孔隙半径分布频率图的分析研究及各特征参数的统计分析,将其孔隙结构大致分为 3 种类型。第 1 类为偏粗态型,具该类孔隙结构的储层具有较低的排驱压力和较大的孔径,表现为较好的储层;排驱压力平均为 1~3 MPa,孔隙半径平均为 0.5~1 μm ,储层孔隙度平均为 8%~10%,平均渗透率大于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。第 2 类为偏细态型,具该类孔隙结构的储层孔喉半径相对较大,但排驱压力也较大,裂缝发育

程度低,岩石渗滤能力变差,表现为中等储层;排驱压力平均为3~8 MPa,孔隙半径平均为0.1~0.5 μm ,储层孔隙度平均为5%~8%,渗透率平均为(0.1~0.5) $\times 10^{-3}$ μm^2 。第3类为细态型,具该类孔隙结构的储层孔喉半径小而且分布较集中,排驱压力也较高,渗滤能力极差,表现为较差储层;排驱压力平均为8~15 MPa,孔隙半径平均为0.05~0.1 μm^2 ,孔隙度平均为3%~5%,渗透率平均为(0.05~0.1) $\times 10^{-3}$ μm^2 。本区除少数样品表现为较好的偏粗态型孔隙结构特征外,其余多表现为偏细态型—细态型孔隙结构特征。

1.3 渗流特征

营城组火山岩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,主要渗流通道为裂缝,是一类重要的双重介质储层。火山岩储层的渗流特征可通过对试井或完井试油不稳定压力恢复曲线的解释,求取双重介质储容比和窜流系数这2个特征性参数来描述。这2个参数非常有价值,比常规岩心分析测试和测井解释等技术手段更能反映火山岩储层的真实渗流能力和渗流特征。

测试井双对数径向流曲线多呈“V”字形,显示了典型的双重孔隙渗流特征。表1列出了对长岭断陷部分钻井测试特征曲线的解释结果,测试储层有效渗透率大多数小于 1×10^{-3} μm^2 ,为低渗储层;储容比多在0.04~0.06之间,测试储层贯通性裂缝或有效裂缝较发育;窜流系数变化较大,裂缝与基岩孔隙的连通性在不同井区有较大差异。YS2井测试层段储容比为0.0384,窜流系数为 1.09×10^{-3} ,储层裂缝较发育,裂缝系统与基岩孔隙系统连通性也较好。而YS102井两测试层段储容比分别为0.045和0.041,储层微裂缝较发育,但窜流系数比YS2井要小得多,表明YS102井裂缝与基岩的连通性和孔隙的流动能力比YS2要差,相对而言,第二测试层比第一测试层孔隙渗流能力又要好些。

以上是理想情况下火山岩储层表现出的渗流特征,实际情况中会出现类似于均质气藏渗流特征的压力恢复曲线^[7]。由于孔隙渗流的作用很小,远远小于裂缝的渗流贡献,所以表现出以裂缝渗流为主的“假均质渗流特征”。这也说明对营城组火山岩气藏而言,火山岩储层孔隙不具渗流作用仍能成藏,火山岩气藏范围内裂缝渗流占主导作用。

2 火山岩储层非均质性

火山岩储层的非均质性主要包括层内非均质性和平面非均质性2个方面。

层内非均质性主要指储层内部垂向上物性的变化。长岭断陷营城组火山岩纵向岩性的变化不明显,但储层内部垂向上物性变化的韵律性很显著(图2),这跟火山喷发强度、地理位置、火山岩相带等因素密切相关。当裂缝和气孔发育时,火山岩层内非均质性变化会更明显。营城组火山岩储层恒速压汞资料显示,火山岩喉道分布频带宽,孔喉比远大于相同物性的常规碎屑岩储层,具备双峰特点。这表明火山岩储层的喉道与孔隙匹配性更差,层内非均质性更严重。

平面非均质性主要反映储层平面上厚度、孔隙度、渗透率的变化规律。长岭断陷营城组火山岩平面上厚度和物性变化均很大。火山岩一般从火山口或活动断裂向低势区漫延分布,由于其流动时的粘滞性和地势的高低起伏,从火山喷发口向外,物理条件变化大、构造应力逐渐减小,因此,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。据物性数据统计和资料分析,营城组火山岩物性以腰英台—查干花地区为最好,腰英台要优于查干花地区,达尔罕、东岭地区相对差些。

3 物性影响因素分析

火山岩储层的形成有其特殊复杂的一面,埋藏压实、岩性、岩相、构造作用、风化溶蚀作用、胶结作

表1 长岭断陷营城组火山岩地层特征参数

Table 1 Testing data of volcanic rock, Yingcheng Formation, Changling Fault Depression

井号	测试井段/ m	有效渗透率/ (10^{-3} μm^2)	表皮系数	储容比	窜流系数
YS102	3 813~3 815	0.924	12	0.045	9.12×10^{-7}
YS102	3 773.5~3 792	8.3×10^{-2}	2.29	0.041	1.63×10^{-6}
YS2	3 736.2~4 000.2	5.3×10^{-6}	-1.43	0.0384	1.09×10^{-3}
YS202	3 820.4~3 835.2	9.4×10^{-6}	-2.02	0.56	5×10^{-6}
YS4	4 158~4 168	2.77	-1.43	0.057	1.12×10^{-6}
LS1	4 219~4 965	2.06×10^{-4}	6.5	0.0487	3.83×10^{-4}

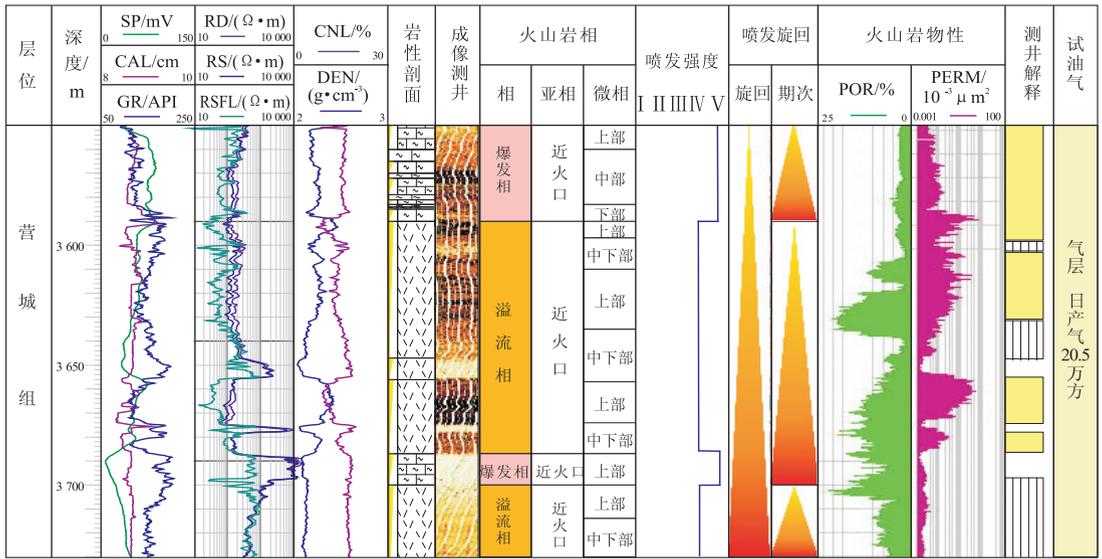


图 2 长岭断陷 YS1 井营城组火山岩储层层内非均质性

Fig. 2 Heterogeneity in volcanic rock reservoir of Yingcheng Formation, well YS1, Changling Fault Depression

用等都会对其物性产生不同程度的影响^[8],火山岩储层物性控制因素研究是认识火山岩储集性能的关键。火山岩岩性、岩相及成岩后生作用是影响长岭断陷营城组火山岩物性好坏的主要因素。

3.1 岩性、岩相与物性关系

岩性是影响火山岩储层好坏的直接因素,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则可以很差,这与火山岩的分布位置和裂缝的发育程度有关。长岭断陷营城组流纹岩、凝灰岩、英安岩的储集物性要好于安山岩、花岗斑岩、玄武岩。本区英安岩只是以薄层的形式夹杂在流纹岩或凝灰岩中,很难形成具有一定产能的储层,作为主要储层的凝灰岩、流纹岩孔隙度、渗透率均较好。随着勘探的逐步深入,长岭断陷中基性的安山岩、玄武岩、辉绿岩能否作为有效储层尚待进一步细致研究。

火山岩岩相对储层的发育具有明显的控制作用,特别是火山岩亚相与物性密切相关。长岭断陷目前仅在爆发相凝灰岩和溢流相流纹岩中获得突破,在次火山岩相中发现油气显示,而在火山沉积相、火山通道相中还没有油气发现。通过对火山岩样品岩相与物性关系的统计分析(图 3),不同的火山岩亚相其岩石密度、孔隙度和渗透率有所不同。在溢流相的 3 个亚相中,上部亚相岩石密度最小,平均 2.46 g/cm³,孔隙度值最大,平均 8.2%,渗透率值也最大,平均 0.12×10⁻³ μm²;下部亚相岩石密度最大,平均 2.56 g/cm³,孔隙度值最低,平均 3.0%,渗透率最低,平均 0.01×10⁻³ μm²。在爆发相上、中、下 3 个亚相中,上部亚相岩石密度是相对最

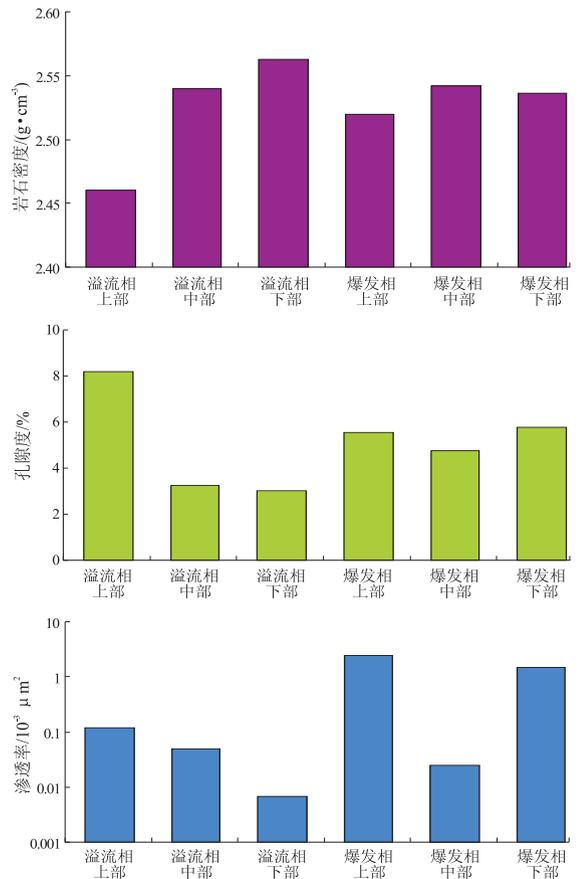


图 3 长岭断陷营城组火山岩岩相与物性关系

Fig. 3 Relationship between lithology and physical property of volcanic rock, Yingcheng Formation, Changling Fault Depression

小的,平均 2.52 g/cm³,孔隙度值中等,平均 5.5%,渗透率值最大,平均 2.44×10⁻³ μm²;下部亚相平均岩石密度 2.54 g/cm³,孔隙度值平均 5.8%,渗透率值平

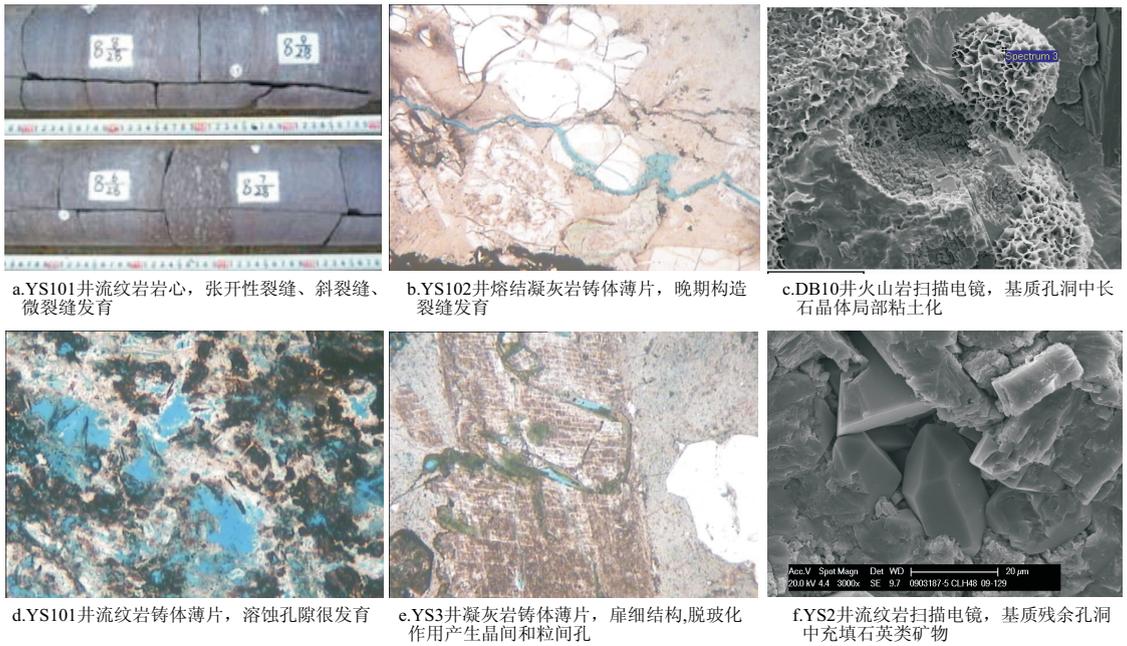


图 4 长岭断陷营城组火山岩成岩后生作用阶段形成各种次生孔隙和裂缝

Fig. 4 Secondary pore and fracture generated during epigenesis of volcanic rock, Yingcheng Formation, Changling Fault Depression

均 $1.48 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 中部亚相孔隙度和渗透率相对最低。从统计结果来看, 溢流相上部亚相、爆发相上部、下部亚相物性相对较好, 应该是最有利储层发育的相带; 溢流相下部、爆发相中部孔缝发育程度低, 一般不能构成有效储集层。因此不同的相带和亚相对火山岩的物性影响很大。受火山岩取心及样品数量的限制, 统计结果可能有些局限性, 但钻井资料也证实, 长岭地区获高产气流井的产层段火山岩岩相主要是溢流相上部亚相、爆发相上部和下部亚相。

3.2 成岩后生作用与物性关系

火山岩的成岩作用与常规碎屑岩有很大的不同^[9-10], 火山岩原生孔缝的连通性和渗透性一般较差, 成岩后生作用阶段有两个显著的特点, 一是火山岩埋藏时已固结成岩, 一般不会因压实作用而损失孔隙, 不会因埋深的增加而使孔隙越来越小; 二是火山岩刚性强度大, 可塑性小, 在构造运动作用下很容易破裂。构造作用、风化淋滤作用、溶蚀作用和脱玻化作用对长岭断陷营城组火山岩储层物性的影响很关键(图 4)。

构造运动使火山岩产生大量不同规模的裂隙, 由于裂缝连通了多个孤立的原生气孔, 从而使气孔变为有效孔隙。钻井揭示长岭断陷营城组火山岩在断裂附近孔缝比较发育(图 4a), 是优质储层发育的有利区域。营城组早期的裂缝大都被充填, 晚期构造裂缝发育使孔隙改善(图 4b)。风化淋滤作

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。溶蚀作用形成许多次生晶内溶孔与粒间溶孔, 在腰英台、东岭和达尔罕地区已钻探火山岩中, 长石晶体由于深部流体的作用出现蚀变现象, 局部粘土化, 同时形成系列微孔隙(图 4c)。YS101 井在 3 760~3 790 m 流纹岩层段发现的高产气藏与溶蚀孔隙的发育密不可分(图 4d)。脱玻化作用形成的微孔隙在岩石薄片中的面孔率可达 7%~13%, 因此脱玻化作用对储层物性的影响不可忽视(图 4e)。在成岩后生作用阶段形成各种次生孔隙和裂缝, 一方面增加储集空间, 另一方面增加了连通性, 增强了渗透性, 对储集空间的形成改造以及储集性能的改善起关键作用。

此外, 热液流体活动导致的胶结、充填等作用往往会使储层的物性变差。火山岩中蚀变矿物及自生矿物(如绿泥石和沸石等)充填于岩石孔隙及裂缝中或交代原有的矿物, 可造成一部分孔隙堵塞, 被充填而成无效储集空间。这一充填胶结作用在营城组的火山岩中也比较普遍(图 4f)。

4 结论

1) 长岭断陷营城组火山岩储层孔隙度和渗透率值都偏低, 孔喉的连通性、储集性及渗流能力较差, 基本上属于低孔低渗—特低孔渗储层。主要渗

3 结论

稠油的粘度与其饱和烃、芳烃、非烃、沥青质的质量分数之间有着很好的数学关系,可以通过测定稠油的族组成,计算出稠油的粘度。基于这一原理,建立了一套利用棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器联用技术测定油砂有机质的族组成,在此基础上有效地预测油层稠油粘度的方法。该方法具有简单、快速、廉价等诸多优点,并可通过井壁油砂取样进行高密度油藏粘度描述,对于稠油油藏工程具有实用价值。

参考文献:

- [1] 刘文章. 热采稠油油藏开发模式[M]. 北京:石油工业出版社,1998:10—41.
- [2] 谷俊标,申龙涉,黄东维,等. 稠油降粘技术在采油工艺上的应用[J]. 辽宁化工,2003,32(10):430—432.
- [3] 姜涛,肖林鹏,杨明强,等. 超深层稠油油藏注天然气吞吐开发矿场试验[J]. 大庆石油地质与开发,2008,27(5):101—104.
- [4] 程亮,杨林,邹长军. 稠油物理场降粘技术研究进展[J]. 化

工师刊,2005,19(6):51—55.

- [5] 汪双清,沈斌,林壬子. 稠油黏度与化学组成的关系[J]. 石油学报(石油加工),2010,26(5):795—799.
- [6] 汪双清,沈斌,林壬子. 辽河超稠油的化学组成特征及其致粘因素探讨[J]. 石油学报(石油加工),2010,26(6):894—900.
- [7] 汪双清,沈斌,林壬子. 微波作用下稠油粘度变化及其化学因素探讨[J]. 石油实验地质,2010,32(6):615—620.
- [8] 杨海鹰,顾洁,蔺玉贵. 棒状薄层色谱/氢火焰离子化检测器法测定重油烃族组成影响因素的探讨[J]. 分析仪器,2001(2):27—29.
- [9] 王汝祥,葛颖. 储集岩抽提物的 TLC-FID 棒状薄层色谱分析及应用[J]. 石油实验地质,2003,25(3):314—317.
- [10] 国家发展与改革委员会. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5119—2008 岩石中可溶有机物及原油族组分分析[S]. 2008.
- [11] Radke M, Willsch H, Welte D H. Preparative hydrocarbon group type determination by automated medium pressure liquid chromatography[J]. Anal Chem, 1980, 52(3):406—411.
- [12] 中国石油天然气总公司. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 6316—1997 稠油油藏流体物性分析方法原油粘度测定[S]. 1997.

(编辑 黄娟)

(上接第 181 页)

流通道为裂缝,大量发育的孔隙如果缺少裂隙的沟通,不具有渗透性,即使孔隙再发育,也难以形成有效的储层,这是长岭断陷火山岩储层与碎屑岩储层最重要的区别之一。

2)长岭断陷营城组火山岩储层属于非均质性严重的一类储层,火山岩岩性、岩相对储层的发育具有明显的控制作用,特别是火山岩亚相与物性密切相关。溢流相上部亚相、爆发相上部、下部亚相物性相对较好,是最有利储层发育的相带;溢流相下部、爆发相中部一般不能构成有效储集层。在成岩后生作用阶段形成各种次生孔隙和裂缝对储集空间的形成改造以及储集性能的改善起关键作用,后期的构造作用、风化淋滤作用、溶蚀作用和脱玻化作用对火山岩储层物性的影响尤为重要。

参考文献:

- [1] 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):231—237.

- [2] 赵德力,徐佑德,魏分粮,等. 长岭断陷营城组火山岩成藏特征及勘探方向[J]. 断块油气田,2009,16(3):17—20.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 刘为付,朱筱敏. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化[J]. 石油实验地质,2005,27(1):44—49.
- [6] 庞彦明,章凤奇,邱红枫,等. 酸性火山岩储层微孔裂隙结构及物性参数特征[J]. 石油学报,2007,28(6):72—76.
- [7] 唐胡琼,段永刚,李季,等. 腰英台气田腰深1井产能评价及试井分析[J]. 钻井工艺,2009,32(2):38—40.
- [8] 秦伟军,刘超英,谈凤其,等. 松辽盆地长岭断陷火山岩相与天然气成藏关系[J]. 石油实验地质,2008,30(4):328—332.
- [9] 戴亚权,罗静兰,林潼,等. 松辽盆地北部升平气田营城组火山岩储层特征与成岩演化[J]. 中国地质,2007,34(3):528—535.
- [10] 李海华,张彦霞,王保华. 松辽盆地长岭断陷碎屑岩储层微观特征研究[J]. 石油实验地质,2009,31(6):557—563.

(编辑 徐文明)