

辽河盆地荣兴屯地区中生界火山岩储集性能研究

梁晓东¹ 赵志刚² 陈全茂³ 黄思骥³ 姜建群⁴

(1. 大庆勘探开发研究院, 大庆 163712; 2. 中国海洋石油研究中心勘探部, 新城 074012; 3. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074; 4. 辽河油田研究院, 盘锦 124010)

摘要: 运用火山岩岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜、孔、渗及压汞分析等多种分析测试手段研究了辽河盆地荣兴屯地区中生界火山岩储集性能, 认为: (1) 火山岩储集空间以次生孔缝为主, 原生孔缝大多已被充填; (2) 孔喉狭窄, 平均连通孔喉半径一般在 $0.100 \sim 0.500 \mu\text{m}$ 左右。孔喉分布主要有单峰型和双峰型两种; (3) 孔隙组合类型有微裂缝型、微裂缝-孔隙型和孔隙型3种, 并以前两种类型为主; (4) 孔隙度值在 $1.0\% \sim 16.3\%$ 之间, 渗透率在 $0.012 \times 10^{-3} \sim 12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属低孔特低渗储集层; (5) 储层非均质性强, 渗透率级差为 1 000, 突进系数为 12.41, 变异系数为 2.3。根据上述特点提出了火山岩储集层划分方案; (6) 由于孔/喉比值较小, 火山岩储集层的压汞退出效率较高, 平均达 47.9%, 预示了较高的油气产能。

关键词: 火山岩储集层; 储集空间; 孔喉分布; 孔隙组合; 非均质性; 储集性能。

中图分类号: P588.14; TE122.2+22

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)02-0143-04

作者简介: 梁晓东, 男, 高级工程师, 1963年生, 1999年毕业于中国地质大学, 获博士学位, 主要从事油气勘探研究。

随着国内外油气勘探进展, 火山岩油气藏越来越受到人们重视。在国外, 美国加利福尼亚州和德克萨斯州、利比亚、印度尼西亚、日本、挪威北海斯塔特菲约尔德油田及巴西等都有火山岩产油的报道。在国内, 二连盆地阿北安山岩, 克拉玛依一区石炭系玄武岩^[1], 克拉玛依油田五区佳木河组火山岩^[2], 胜利油田车镇凹陷煌斑岩侵入体^[3], 东营凹陷下第三系火山岩^[4]等许多地区都开展了火山岩储集层研究。这些研究表明, 火山岩储集层既不同于砂岩, 也不同于碳酸盐岩, 有其独特性。这种独特性主要是由于其独特的生成环境、岩石类型、矿物组分、岩相展布和次生变化造成的。因此, 当前国内外对火山岩储集层的研究就集中在探讨这些独特因素对火山岩储集层的影响, 以及不同类型火山岩的储集能力上。

荣兴屯地区位于辽河盆地东部凹陷南部, 现已有 27 口井钻遇中生界, 其中荣 76 井在安山岩中获工业油流, 油 38-56 井产油, 荣 42、荣 50、荣 100、油 1、营 1 和营 2 井等都见到了不同程度的油气显示, 预示了该区中生界火山岩具较好的勘探前景。

1 构造岩相

荣兴屯地区火山岩以潜山的形式埋藏在第三系之下。受第三纪裂谷断块作用的改造, 在东北方向上中生界火山岩可分成 4 个带, 由北西南东方向依次为: 西部火山洼地带、中部火山地垒带、中部火山洼陷带和东部火山隆起带。

西部火山洼地带埋深最大, 其中生界顶面深度大于 2 400 m, 火山岩系厚度 1 500~2 400 m, 主要为火山喷发沉积相。

中部火山地垒带是由两条背向断层夹持的高垒块, 中生界火山岩顶界深度仅有 1 100 m, 火山岩残留厚度约 1 400~1 700 m。该带主要为溢流相, 发育数百 m 厚的安山岩及粗面岩类。受风化作用和次生蚀变作用的影响, 火山岩储集层比较发育。目前所有已证实的圈闭都集中在该带内。

中部火山洼陷带中生界顶面埋藏较深, 一般在 1 900~2 800 m 之间, 厚度 2 000 m 左右, 主要由侵入相、爆发相和火山沉积相构造, 岩性为流纹岩、火山角砾和火山沉积岩, 储集物性很差。

东部火山隆起带火山岩顶界一般在 1 400~

2 500 m 之间,火山岩系厚度最大达 2 000 m,受资料所限,岩相研究程度较低.

2 孔隙结构

2.1 储集空间类型

根据岩心观察并结合岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜等资料分析,荣兴屯地区中生界火山岩储集空间有以下几种类型^[5].(1)原生气孔:安山岩中较发育,岩心中观察到大量气孔安山岩,镜下也较多见.气孔形态多样,多为圆形或椭圆形,大小不一,大的直径达 10 mm 以上,小的不到 1 mm.有的气孔被绿泥石和燧石充填成完善的杏仁构造.(2)冷缩节理:系熔岩形成时,由于热力散失,熔体收缩产生张应力,使岩体破裂形成.仅在 3 块安山岩薄片观察到,都呈珍珠状裂开.(3)溶蚀孔:在本区中生界火山岩中十分发育,在薄片大量见到,包括斑晶溶蚀孔和基质溶蚀孔.斑晶溶蚀孔是安山岩中的斑晶斜长石、角闪石或流纹岩、粗面岩中的斑晶钾长石被溶蚀产生的孔隙.微晶安山岩中微晶斜长石也可被溶蚀形成溶蚀孔.基质溶蚀孔是基质中的成分被溶蚀产生的孔隙.(4)裂缝:在岩心观察中见到构造裂缝和风化裂缝.构造裂缝主要是二组呈“X”型相互近于垂直的裂缝,其中一组与岩心平行或略有斜交,将岩心直立劈开或高角度切开,宽度一般 1~2 mm,最宽

达 4 mm,已被矿物充填.风化裂缝发育在风化带中,延伸较短,分布密集.镜下对岩石薄片、铸体薄片及扫描电镜观察表明,火山岩中微裂缝较发育,多呈“X”状或网状交切,一般宽 0.01~0.05 mm,充填、半充填及未充填的都有.半充填及未充填的裂缝多是先期充填裂缝被溶蚀或再次裂开形成的.

2.2 孔隙及孔喉大小

荣兴屯区中生界火山岩岩心样品、铸体薄片测量及压汞分析表明,孔隙直径的平均值最大为 40 μm ,最小为 21.6 μm ,一般在 20~30 μm ,属细孔隙,但是,荣 50 井和油 1 井在钻井过程中都在中生界井段发生泥浆漏失现象,说明存在大洞大缝.通过岩心观察也发现区内中生界火山岩中存在未被充填的较大气孔.压汞测定最大连通孔喉半径差别较大,最大可达 18.859 μm ,最小只有 0.054 μm ,平均连通孔喉半径一般在 0.100~0.500 μm 左右,以小喉道为主.

2.3 孔喉分布

压汞样品各级孔喉分布频率直方图显示出(图 1),孔喉分布可分为两种类型:单峰型和双峰型.(1)单峰型:孔喉半径粗细比较均一,峰值主要出现在 0.160~0.630 μm 之间,对渗透率做贡献的也是这些孔喉.(2)双峰型:峰态平缓,孔喉半径粗细不均,最大连通孔喉半径较大,一般大于 1 μm ,大孔喉含量较少,但它们对渗透率做主要贡献.



图 1 毛细管压力与孔喉分布频率

Fig. 1 Capillary pressure and distribution frequency of pore throat

a. 双峰型; b. 单峰型

2.4 孔隙组合类型

综合薄片观察及压汞分析,并结合前人资料,将荣兴屯地区中生界火山岩孔隙组合类型划分为以下3种。(1)微裂缝型:以微裂隙为主要储集空间和油气运移通道,并含少量孔隙的组合类型。孔喉半径分布于 $0.025\sim 18.859\ \mu\text{m}$ 之间,其中 $0.250\sim 18.859\ \mu\text{m}$ 的孔喉半径渗透率贡献值曲线占总累积曲线的90%以上。最大连通孔喉半径大,而孔隙度较小。(2)微裂缝-孔隙型:该孔隙组合以各种成因的细孔为主(包括斑晶、基质溶孔及气孔),微裂隙较为发育。孔隙度较前一种稍大,最大连通孔喉半径小于前一种。孔喉分布在 $0.025\sim 4.000\ \mu\text{m}$ 之间,其中半径为 $0.250\sim 4.000\ \mu\text{m}$ 之间的渗透率贡献值占累积曲线的90%以上。(3)孔隙型:以孔隙为主,极少含微裂隙或微裂隙已充填。孔隙度值较大,但渗透率极低,多小于 $0.1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,孔喉半径分布在 $0.025\sim 0.630\ \mu\text{m}$ 之间,其中半径 $0.100\sim 0.630\ \mu\text{m}$ 之间的孔喉对渗透率贡献值占累积曲线的90%以上。

3 储集性能

3.1 孔隙度和渗透率

从荣兴屯地区部分中生界火山岩样品的孔、渗分析结果可以看出,孔隙度值在 $1.0\%\sim 16.3\%$ 之间变化,平均 7.8% 。岩性不同,孔隙度差别很大。相对而言,粗面岩、角闪安山岩、气孔安山岩孔隙度较大,如荣42井粗面岩孔隙度 $8.5\%\sim 16.3\%$,平均 12% ;从各井揭露的角闪安山岩看,孔隙度 $9.4\%\sim 16.1\%$,平均 13.2% ;气孔安山岩孔隙度 $3.4\%\sim 14.0\%$,平均 9.75% 。可见,本区中生界火山岩属中一低孔隙度。渗透率差别更明显,最大值为 $12\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,最小只有 $0.012\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,平均 $0.967\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$,普遍较低。

3.2 储集层非均质性

区内中生界火山岩储集层的非均质性很强。统计表明,火山岩储集层渗透率级差为1000,渗透率突进系数为12.41,渗透率变异系数为2.33。不同岩性的火山岩其非均质性是有差异的,如安山岩其渗透率级差为800,突进系数7.4,变异系数为2.4,说明非均质性很强;就粗面岩来说,其渗透率级差为40.4,突进系数为2,变异系数只有0.97,说明其非均质性较弱。



图2 孔/喉直径比与退出效率的关系

Fig.2 Relationship between pore throat diameter ratio and seceding efficiency

3.3 储集层产能

由于退出效率相当于润湿相排驱非润湿相时所排出的非润湿相计量,所以在水湿油层中它相应为水驱油的驱油效率,这对研究及预测石油采收率有着重要的现实意义。本区火山岩储集层的压汞退出效率是较高的,其变化范围在 $25.0\%\sim 68.9\%$ 之间,平均 47.9% 。进一步分析发现,本区火山岩储集层的压汞退出效率与孔隙度关系不大,而主要与孔/喉直径比有着良好的相关性,即退出效率与孔/喉直径比的对数呈反比直线关系(图2)。这种相关性可以这样解释,当孔/喉比大时,压力降低时只有喉道中的水银退出,因而退出效率小,而当孔/喉比小时,降低压力不但喉道中的水银退出,孔隙中的水银也大部分退出,因而退出效率也大为提高。

4 储层分类

实践证明,碎屑岩储集层的分类标准,一般不适合火山岩油气储集层。例如,按砂岩孔隙度评价标准,孔隙度 $<5\%$ 即为无价值储集层。但二连盆地阿北安山岩储集层有效孔隙度仅约 3% ,油藏平均单井日产量约 $10\ \text{t}$,高的达 $30.5\sim 39.5\ \text{t}$ 。而克拉玛依油田五区佳木河组火山岩储集层,孔隙度有效下限仅为 3.7% ,说明低孔隙度火山岩中仍可形成油气藏。

根据岩心样品孔隙结构及物性特征,并结合国内其他火山岩油藏有关资料,将区内中生界火山岩储集层划分为3个级别,具体划分标准见表1。

以上通过火山岩储集性能等四个方面的研究,取得了六项初步认识,这些认识尚需要进一步勘探来检验。

表 1 中生界火山岩储集层分类

Table 1 Classification of Mesozoic volcanic reservoirs

类型	孔隙度/ %	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙 组合类型	孔/喉比
I 好储层	>10	>1	微裂缝、微裂 缝-孔隙	<100
II 一般储层	4~10	0.1~1	微裂缝-孔隙	100~600
III 非储层	<4	<0.1	孔隙	600~1 000

本文在研究过程中,受到了辽河研究院总地质师孟卫工、高级工程师梁鸿德、陈振岩和其他同志的大力支持和热情帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 陈岩. 克拉玛依油田一区石炭系火山玄武岩油藏剖析[J]. 新疆石油地质, 1988, 9(1): 17~31.
- [2] 顿铁军. 克拉玛依油田五区佳木河组储层研究[J]. 石油与天然气地质, 1989, 10(1): 59~73.
- [3] 周自立. 山东车镇凹陷义北油田中生代煌斑岩侵入体油藏孔隙研究[J]. 石油与天然气地质, 1989, 10(2): 145~151.
- [4] 董冬, 杨申镰, 段智斌. 滨南油田下第三系复合火山岩相与火山岩油藏[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(4): 346~355.
- [5] 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构[J]. 北京: 科学出版社, 1986. 49~73.

RESERVOIR PROPERTIES OF MESOZOIC VOLCANIC ROCKS IN RONGXINGTUN REGION, LIAOHE BASIN

Liang Xiaodong¹ Zhao Zhigang² Chen Quanmao³ Huang Siji³ Jiang Jianqun⁴

(1. Daqing Exploration and Development Research Institute, Daqing 163712, China; 2. Exploration Department of Ocean Petroleum Research Center, Xincheng 074012, China; 3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 4. Research Institute of Liaohe Oil Field, Panjin 124010, China)

Abstract: The testing methods, such as the volcanic rock thin section, the casting thin section, the scanning electron microscope and the porosity, permeability and mercury injection, are used in this paper to make researches into the reservoir properties of the Mesozoic volcanic rocks in the Rongxingtun region, Liaohe basin. The research results are used to draw the following six conclusions: (1) The reservoir space of the volcanic rocks is mainly composed of secondary pores, while the primary pores are often filled. (2) The pore throats are narrow, with the mean radius of an open pore ranging between 0.100 - 0.500 μm . The pore throats are distributed in the following two patterns: mono-peak and flat peak. (3) The major three pore assembly types are shown below: microfissure, microfissure-pore and pore, and are dominated by the first two types. (4) The porosity varies between 1.0% - 16.3%, and the permeability between 0.012×10^{-3} - $12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. In this case, this reservoir is featured by the low porosity and the super-low permeability. (5) The reservoir is characterized by strong heterogeneity, low permeability gradation: 1 000, abrupt injection coefficient: 12.41 and variation coefficient: 2.3. The features mentioned above have been used to make a plan to classify the volcanic rock reservoirs. (6) Because of the relatively low ratio between pore and throat, the seceding efficiency of the volcanic rock reservoirs is relatively high, whose average value reaches 47.9%, showing the potential of a high oil and gas productivity.

Key words: volcanic rock reservoir; reservoir space; pore throat distribution; pore and fissure assembly; reservoir heterogeneity; reservoir property.