

松辽盆地白垩系营城组埋藏火山机构岩相定量模型 及储层流动单元特征

唐华风¹, 徐正顺², 王璞珺¹, 舒萍², 黄玉龙¹, 边伟华¹, 田新²

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

2. 大庆油田 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

摘要: 松辽盆地营城组火山机构类型划分为碎屑岩火山机构、熔岩火山机构和复合火山机构3种。碎屑岩火山机构中火山通道相占9.3%, 爆发相占55.3%, 喷溢相占29.2%, 侵出相占1.4%, 火山沉积相占4.8%; 火山机构半径为0.5~1.5 km, 高度为50~220 m。熔岩火山机构中火山通道相占8.1%, 爆发相占23.4%, 喷溢相占62.6%, 侵出相占5.1%, 火山沉积相占0.8%; 火山机构半径为1~2 km, 高度为200~300 m。复合火山机构中火山通道相占4.9%, 爆发相占34.4%, 喷溢相占56.8%, 侵出相占2.6%, 火山沉积相占1.3%; 火山机构半径为2~4 km, 厚度为300~450 m。亚相控制储层流动单元的规模, 碎屑岩火山机构的储层流动单元范围为0.3~1.5 km, 厚度小于60 m。熔岩火山机构的储层流动单元范围为1~2 km, 厚度小于80 m。复合火山机构的储层流动单元范围为1.5~3.0 km, 厚度小于100 m。各类火山机构气藏开发时的井距和压裂方案均存在差异。

关键词: 松辽盆地; 营城组; 火山机构类型; 岩相模型; 储层流动单元

中图分类号: P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1671-5888(2007)06-1074-09

Facies Quantitative Model and Characteristics of Reservoirs Flow Unit of Buried Volcanic Edifice of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Cretaceous, NE China

TANG Hua-feng¹, XU Zheng-shun², WANG Pu-jun¹, SHU Ping²,
HUANG Yu-long¹, BIAN Wei-hua¹, DING Ri-xing²

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract: According to eruptive scale illustrated by drilling lithology, facies characteristics and seismic data, early Cretaceous volcanic edifices of Yingcheng Formation in Xujiawezhi faulted depression, Songliao Basin were classified into pyroclastic volcanic edifice, lava volcanic edifice and compound volcanic edifice. The facies composition of pyroclastic volcanic edifice was listed as follows: 9.3% for volcanic vent facies, 55.3% for explosive facies, 29.2% for effusive facies, 1.4% for extrusive facies and 4.8% for volcanic sedimentary facies. The pyroclastic volcanic edifices is 0.5-1.5 km wide and 50-220 m thick. The facies composition of lava volcanic edifice was 8.1% for volcanic vent facies, 23.4% for explosive facies, 62.6% for effusive facies, 5.1% for extrusive facies, and 0.8% for volcanic sedimentary facies.

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403); 国家自然科学基金项目(40372066)

作者简介: 唐华风(1979-), 男, 四川泸县人, 讲师, 博士, 主要从事油气地质和地球物理方面研究, E-mail: tanghfhc@163.com

通讯联系人: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究, Tel: 0431-88502620 E-mail: Wangpj@jlu.edu.cn.

ry facies. The lava volcanic edifices is 1—2 km wide and 200—300 m thick. The facies composition of compound volcanic edifice was 4.9% for volcanic vent facies, 34.4% for explosive facies, 56.8% for effusive facies, 2.6% for extrusive facies and 1.3% for volcanic sedimentary facies. The compound volcanic edifices is 2—4 km wide and 300—450 m thick. The scale of reservoir flow unit is controlled by subfacies of volcanic edifices. So the scale of reservoir flowing unit is various for each volcanic edifice, pyroclastic volcanic edifice is 0.3—1.5 km in width and less than 60 m in thickness, lava volcanic edifice is 1—2 km in width and less than 80 m in thickness, compound volcanic edifice is 1.5—3.0 km in width and less than 100 m in thickness. So the distance of wells and hydraulic fracturing plan are different in each kind volcanic edifice during the development.

Key words: Songliao Basin; Yingcheng Formation; volcanic edifices type; facies model; reservoir flow unit

自2001年在松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩中发现高产天然气XS1井以来,截止到2006年12月已向国家储委上交了 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气探明储量和 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的预测储量。火山岩勘探也取得了长足的进步,使火山岩储层成为大庆油田储量接替的主要目的层。目前庆深气田已进入初步开发阶段。随着气田开发的深入,发现勘探阶段上交的储量预测范围在开发井的揭示下逐步减少,致使天然气开采的基本单元规模变小,这就提出了对火山岩储层流动单元进行再认识的要求。

研究储层流动单元需要从火山岩储层类型和控制因素入手。目前研究表明:熔岩发育丰富的气孔、石泡空腔、杏仁体内孔和构造裂缝;碎屑岩发育丰富的角砾间孔、溶蚀孔、成岩裂缝和构造裂缝;隐爆角砾岩发育砾间缝、网状裂缝和高角度裂缝;沉火山碎屑岩发育颗粒间孔。所以火山机构的成分控制着储层类型的发育^[1,2]。火山通道相发育环状—放射状裂隙和具柱状—板状节理的缝隙,爆发相发育颗粒间孔、松散层、晶粒间孔隙和角砾间孔缝,喷溢相发育气孔、石泡空腔、杏仁体内孔、流纹理层间缝隙、节理缝隙和构造裂缝,侵出相发育岩球间空隙、岩穹内大型松散体、显微裂隙、构造裂隙^[3~6]。火山机构是火山岩层段的基本构成单元,不同类型的火山机构具有不同的岩性岩相特征^[7,8]。火山机构的类型和岩相定量分析对储层流动单元划分具有重要的指导意义。

火山机构(volcanic edifice)又称火山体、火山筑积物,指火山喷发时在地表形成的各种火山地形,有时还涉及火山颈、火山通道等地下结构⁹。在多中心、多期次火山喷发地区形成的火山机构还应该加上时间和空间的限定。松辽盆地营城组火山就是多

中心、多期次喷发的产物;所以将火山机构定义为一定空间和时间范围内,火山通道及其附近各种堆积物及其构造的总称,包括火山颈、火山口及火山口周围的火山岩相^[7]。埋藏火山机构指建造过程结束后,经差异性块断作用被上覆地层埋藏的火山机构。火山机构可能遭受严重剥蚀,也可能仅遭受轻微剥蚀,这取决于它在地表出露时间的长短、古气候和火山机构岩性。

本文通过盆地内钻井揭示的火山岩岩性、岩相组合特征,即火山成分划分火山机构类型,研究各型火山机构的岩相定量模型。在火山机构亚相控制下,根据实测孔隙度、渗透率资料探讨火山机构储层流动单元特征,指导火山岩气藏开发时井距方案和压裂方案的设计。

1 火山机构类型

Thouret在研究火山地形学时将火山类型划分为单一形状火山、复合形状火山、盾状火山、破火山、残留古火山和潜火山^[10]。依据Thouret的分类方案,给火山命名时可能根据形状,也可能根据成分,还可能根据成因。Thordarson在研究冰岛现代火山时根据火山通道的分布特征将火山分为中心火山和玄武岩火山,玄武岩火山根据火山通道形态、喷发特征和喷发环境进一步划分为溢流火山、爆发火山和混合火山^[11]。根据长白山地区火山的岩性、岩相和形态研究成果,将火山机构划分为中心式火山、裂隙式火山和复合式火山机构3种。其中中心式火山机构又细分为盾状火山、层状火山、锥状火山、穹状火山、低平火山和破火山^[12]。此外地质词典收录的常用名词中有盾状火山、锥状火山、层状火山、复合火山和熔岩平原等^[9,13]。从这些火山命名的定义来

看,盾状火山和锥状火山属于形态分类,而层状和复合火山属于成分分类。上述火山机构分类中依据外部形态的分类方案,对于现代火山机构的研究较为适用。因为现代火山的形态是可视的,通过一定的测量方法可以较为容易地获取精确的形态资料。而对于盆地内深埋藏火山机构,由于资料精度和费用的限制难以获取精确的形态资料。

近年来,对松辽盆地火山机构类型的研究有如下 3 种方案:(1)根据火山岩相类型和分布特征将火山机构分为层火山机构、微型盾状火山机构和渣锥火山机构 3 类^[7]。(2)根据岩石类型、岩相组合、空间形态、体积大小将火山机构划分为层状火山机构、穹状火山机构和渣锥火山机构,并总结出了各类火山机构岩性岩相的定性模型^[14]。(3)将盆地内埋藏火山机构与露头火山机构类比,根据火山机构形态规模将火山机构划分为盾状火山机构、锥状火山机构和熔岩穹丘 3 种;再根据岩性类型、形态特征和喷发机制进一步划分为 7 类^[8]。研究盆地内埋藏火山机构能获得资料有钻井资料和地震资料两类。钻井资料是唯一的第一手高精度实物资料,据此可以获得火山机构的岩性和岩相的定量特征。目前徐家围子地区有 127 口井钻遇营城组火山岩,使火山机构的岩性岩相定量分析成为可能。地震资料可以获得火山机构的形态和内部结构资料,目前常用地震

资料火山岩段主频为 28 ~ 30 Hz,三维地震资料面元为 25 m×25 m 和 25 m×50 m 两种,穹状、钟状和锥状火山可能均识别为锥状,对利用形态参数来划分火山机构类型不利。高精度的井间地震资料由于采集处理费用昂贵和周期长而不能大规模获取,这些因素限制了利用形态参数划分盆地内埋藏火山机构类型方法的精度。

综上所述,在进行盆地内埋藏火山机构类型研究时选用成分参数,将火山机构划分为碎屑岩火山机构、熔岩火山机构和复合火山机构 3 种。该火山机构分类方案的特点是与储层有密切的关系,且容易判别(表 1)。营城组火山通道相发育的地区往往也发育丰富的高角度裂缝,这些裂缝使储层火山岩与下伏烃源岩层系连通,成为有效储层的可能性增大。火山锥即火山通道,所以火山锥的数目对储层火山岩形成气藏的影响巨大,根据火山锥的数目将火山机构细分为 8 类。其中,碎屑岩火山机构分为 3 类:无锥、单锥和多锥碎屑岩火山机构;熔岩火山机构分为 3 类:无锥、单锥和多锥熔岩火山机构;复合火山机构可划分为 2 类:单锥复合火山机构、多锥复合火山机构。在判定火山机构的岩性时,后期改造型岩石应根据原岩来判定。如隐爆角砾岩依照原岩岩性来划分,原岩是熔岩则划归为熔岩,是火山碎屑岩则划归为火山碎屑岩。

表 1 松辽盆地营城组埋藏火山机构类型及其岩性、岩相和储层特征

Table 1 Types of buried volcanic edifices of Yingcheng Formation and their characteristics of lithology, facies and reservoirs in Songliao Basin

种	类	参比例子	岩性特征 ^①	岩相特征 ^①	主要储层空间类型
碎屑岩火山机构	无锥碎屑岩火山	中国田洋玛珥湖 ^[15]	火山碎屑岩和碎屑熔岩占 65%以上	火山通道相 9.3%, 爆发相 55.3%, 喷溢相 29.2%, 侵入相 1.4%, 火山沉积相 4.8%	颗粒间孔, 岩体内松散层、晶粒间孔隙和角砾间孔隙, 气孔, 碎屑颗粒间孔和各种次生孔和缝
	单锥碎屑岩火山	新疆于田卡尔达西碎屑锥 ^[16]			
	多锥碎屑岩火山	黑龙江五大连池老黑山 ^[16]			
熔岩火山机构	无锥熔岩火山	南极埃里伯斯火山、印度德干玄武岩 ^[9]	熔岩占 65%以上	火山通道相 8.1%, 爆发相 23.4%, 喷溢相 62.6%, 侵入相 5.1%, 火山沉积相 0.8%	气孔、石泡空腔、杏仁体内孔、流纹理层间缝隙, 岩球间空隙、岩穹内大型松散体、板状、契状节理缝隙和构造裂缝
	单锥熔岩火山	夏威夷基拉韦厄火山 ^[9]			
	多锥熔岩火山	冰岛拉基火山 ^[9]			
复合火山机构	单锥复合火山	日本富士火山 ^[9]	熔岩占 35%~65%, 火山碎屑岩和碎屑熔岩占 60%~35%	火山通道相 4.9%, 爆发相 34.4%, 喷溢相 56.8%, 侵入相 2.6%, 火山沉积相 1.3%	气孔、石泡空腔、杏仁体内孔、流纹理层间缝隙, 颗粒间孔, 岩体内松散层、晶粒间孔隙和角砾间孔缝
	多锥复合火山	中国长白山火山 ^[9]			

① 据松辽盆地北部 88 口井统计结果,判定后期改造型火山岩岩性时(如隐爆角砾岩和构造角砾岩),应该根据原岩来判定岩性;火山通道区域发育丰富的裂缝,使火山岩储层的渗透率增大,并且这些裂缝使储层火山岩与烃源岩层系相互连通,使之成为天然气藏的可能性增大,火山锥即是火山通道,所以从对火山岩储层的贡献角度来看,火山锥数目也是火山机构类型划分的依据。

2 埋藏火山机构岩性特征

由于地震资料分辨率的限制, 只能识别出丘状明显的火山机构^[17, 18], 遭受严重剥蚀的平缓火山机构则难以识别; 所以利用形态参数来研究盆地内埋藏火山机构会有较大困难。相比较而言, 根据成分来划分火山机构类型较为容易。据 88 口钻井岩性的统计结果表明, 该区存在碎屑岩火山机构、熔岩火山机构和复合火山机构 3 种。碎屑岩火山机构主要分布在兴城地区的 XS1—XS6 井区, 熔岩火山机构主要分布在升平地区, 复合火山机构主要分布在兴城南部和丰乐地区。根据营城组火山岩顶面构造图分析可知, 碎屑岩火山机构和熔岩火山机构均以单锥型为主, 复合火山机构以多锥型为主。下面详细介绍各种火山机构的岩性特征。

碎屑岩火山机构岩性以火山碎屑熔岩为主, 常见流纹质角砾熔岩、流纹质晶屑浆屑凝灰熔岩、流纹质晶屑(岩屑)凝灰熔岩和流纹质火山角砾岩; 流纹岩次之, 常见气孔—石泡流纹岩、细晶流纹岩、流纹构造流纹岩和含角砾流纹岩, 偶见玄武岩和安山岩; 火山碎屑岩最少, 见流纹质(晶屑)凝灰岩(图 1A)。

熔岩火山机构岩性以熔岩为主, 常见气孔—石泡流纹岩、细晶流纹岩、流纹构造流纹岩, 玄武岩和安山岩; 火山碎屑熔岩和火山碎屑岩次之, 常见流纹质角砾熔岩, 流纹质晶屑浆屑凝灰熔岩和流纹质火山角砾岩(图 1B)。钻井揭示, 气孔流纹岩在火山机构中心的气孔最大。随着与火山机构中心的距离增大气孔的直径变小、数量变少。

复合火山机构中熔岩和碎屑熔岩均发育。常见气孔—石泡流纹岩、细晶流纹岩、流纹构造流纹岩和含角砾流纹岩, 少量的玄武岩和安山岩。火山碎屑熔岩次之, 常见流纹质角砾(集块)熔岩和流纹质晶屑浆屑凝灰熔岩。火山碎屑岩最少, 见流纹质(晶屑)凝灰岩(图 1C)。

横向上由火山机构中心向远端过渡时, 碎屑成分和粒径具有如下特征: 由集块和角砾组合向岩屑、浆屑和晶屑组合变化, 最后变为火山灰。所以火山机构的碎屑岩具有如下分布规律: 在火山机构中心以集块岩、角砾岩为主, 向远端则过渡为晶屑岩屑凝灰熔岩, 最后过渡为凝灰岩。纵向上火山机构的碎屑成分和粒径变化较小。

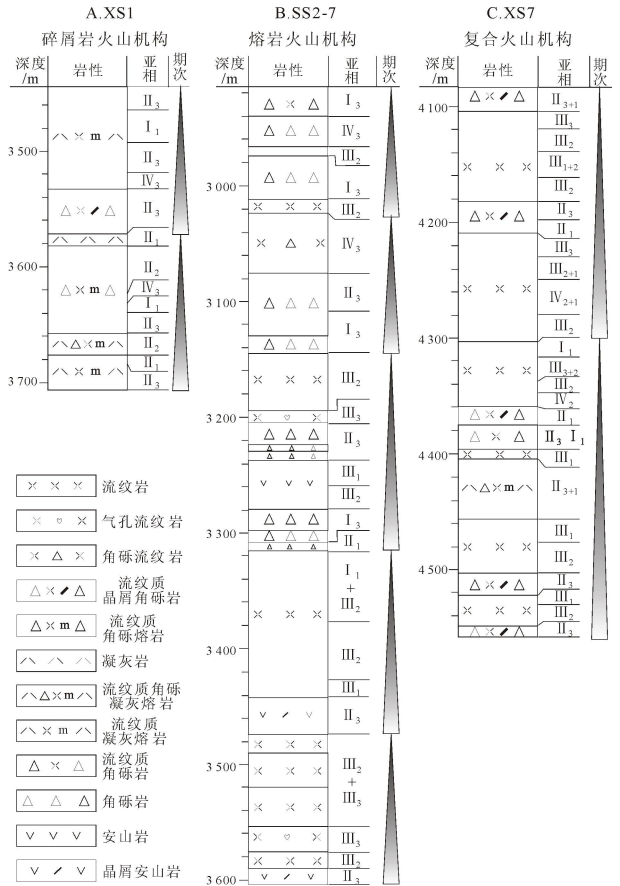


图 1 松辽盆地营城组各类火山机构典型钻井岩性岩相
Fig. 1 Lithology and faeces of typical well of each type of volcanic edifice of Yingcheng Formation in Songliao Basin

I₁. 火山颈亚相; I₃. 隐爆角砾岩亚相; II₁. 空落亚相; II₂. 热基浪亚相; II₃. 热碎屑流亚相; III₁. 下部亚相; III₂. 中部亚相; III₃. 上部亚相; IV₁. 内带亚相; IV₂. 中带亚相; IV₃. 外带亚相

3 埋藏火山机构岩相定量模型

利用 88 口钻井资料统计相序、亚相百分比和亚相厚度范围, 根据露头火山机构和埋藏火山机构规模定量分析, 结合火山机构物理模型^[13] 分析火山机构岩相定量模型。各类火山机构在岩相、相序和规模上也存在显著差别。

3.1 碎屑岩火山机构

碎屑岩火山机构中火山通道相占 9.3%, 爆发相占 55.3%, 喷溢相占 29.2%, 侵出相占 1.4%, 火山沉积相占 4.8%。纵向上常见 4 种相序: ①爆发相—火山通道相/侵出相—爆发相, ②喷溢相—火山通道相—爆发相—火山沉积相, ③爆发相—喷溢

相—爆发相—火山通道相(火山沉积相), ④爆发相—喷溢相。横向上相序为火山沉积相—侵出相/火山通道相—爆发相—火山沉积相。

碎屑火山机构各亚相厚度范围: 隐爆角砾岩亚相为 2~9 m, 次火山岩亚相为 5 m(仅见一段), 火山颈亚相为 3~36 m, 空落亚相为 5~19 m, 热基浪亚相为 5~12 m, 热碎屑亚相为 5~60 m, 下部亚相为 2~50 m, 中部亚相为 5~40 m, 上部亚相为 5~40 m, 中带亚相为 6 m(仅见一段), 外带亚相为 8~15 m, 再搬运亚相为 5~17 m, 含外碎屑亚相为 14~22 m。各亚相在火山机构中所占比例见表 2。该类火山机构主要分布在兴城地区 XS1—XS6 井区, 火山机构半径为 0.5~1.5 km, 高度为 50~220 m。综上所述, 得到碎屑岩火山机构岩相定量模型, 见图 2A。

3.2 熔岩火山机构

熔岩火山机构中火山通道相占 8.1%, 爆发相占 23.4%, 喷溢相占 62.6%, 侵出相占 5.1%, 火山沉积相占 0.8%。纵向上相序为: ①爆发相—喷溢相—火山沉积相, ②火山通道相—爆发相—喷溢相, ③火山通道相—喷溢相, ④爆发相—喷溢相—侵出相/火山通道相, ⑤爆发相—火山通道相—喷溢相。横向上相序为火山沉积相—侵出相/火山通

道相—喷溢相。

熔岩火山机构和亚相厚度范围: 隐爆角砾岩亚相为 12~50 m, 次火山岩亚相为 5 m(仅见一段), 火山颈亚相为 2~60 m, 空落亚相为 6~14 m, 热基浪亚相为 6~24 m, 热碎屑亚相为 5~70 m, 下部亚相为 9~70 m, 中部亚相为 6~80 m, 上部亚相为 6~90 m, 中带亚相为 4~24 m, 外带亚相为 6~70 m, 再搬运亚相为 4~12 m, 含外碎屑亚相为 11 m(仅见一段)。各亚相在火山机构中所占比例见表 2。该类火山机构主要分布在升平地区, 火山机构半径为 1~2 km, 高度为 200~300 m。综上所述, 得到熔岩火山机构岩相定量模型, 见图 2B。

3.3 复合火山机构

复合火山机构中火山通道相占 4.9%, 爆发相占 34.4%, 喷溢相占 56.8%, 侵出相占 2.6%, 火山沉积相占 1.3%。纵向上常见 4 种相序: ①爆发相—喷溢相—火山沉积相, ②爆发相—喷溢相—火山通道相—喷溢相—火山通道相, ③爆发相—喷溢相—爆发相—喷溢相, ④爆发相—喷溢相—爆发相—火山通道相。横向上相序为: 喷溢相—火山通道相/侵出相—喷溢相。

表 2 松辽盆地营城组各种火山机构岩相特征

Table 2 The facies characters of volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin

亚相	碎屑岩火山机构		熔岩火山机构		复合火山机构	
	累计厚度/m	百分比/%	累计厚度/m	百分比/%	累计厚度/m	百分比/%
I ₁ —火山颈亚相	240.8	7.6	399.0	6.2	437.5	4.8
I ₂ —次火山岩亚相	22.0	0.7	/	/	3.0	0.0
I ₃ —隐爆角砾岩亚相	30.1	1.0	123.0	1.9	11.0	0.1
II ₁ —空落亚相	96.0	3.0	56.0	0.9	347.0	3.8
II ₂ —热基浪亚相	233.7	7.4	92.0	1.4	279.0	3.0
II ₃ —热碎屑流亚相	1 417.7	44.9	1 353.0	21.1	2 536.0	27.6
III ₁ —下部亚相	340.4	10.8	742.0	11.6	1 688.0	18.4
III ₂ —中部亚相	364.1	11.5	1 928.0	30.0	2 241.0	24.4
III ₃ —上部亚相	219.4	6.9	1 351.0	21.0	1 290.0	14.0
IV ₁ —内带亚相	/	/	/	/	98.5	1.1
IV ₂ —中带亚相	6.0	0.2	70.0	1.1	114.0	1.2
IV ₃ —外带亚相	37.0	1.2	260.0	4.0	26.0	0.3
V ₁ —再搬运火山碎屑沉积岩	36.0	1.1	11.0	0.2	/	/
V ₂ —含外碎屑火山碎屑沉积岩	37.8	1.2	36.0	0.6	75.0	0.8
V ₃ —凝灰岩夹煤沉积	79.0	2.5	/	/	48.0	0.5

注: 据松辽盆地北部 88 口钻井统计结果, “/”未见钻井揭示。

复合火山机构各亚相厚度范围:火山颈亚相为6~57 m,隐爆角岩亚相为4~7 m,空落亚相为4~27 m,热基浪亚相为6~34 m,热碎屑流亚相为3~80 m,以10~60 m为主,下部亚相为4~90 m,中部亚相为5~80 m,上部亚相为6~90 m,内带亚相为6~35 m,外带亚相为26 m(仅见一段),再搬运亚相为11~29 m。各亚相在火山机构中所占比例见表2。该类火山机构主要分布在兴城南部,火山机构半径为2~4 km,厚度为300~450 m。综上所述,得到复合火山机构岩相定量模型,见图2C。

4 火山机构储层流动单元特征

储层流动单元(reservoir flow unit)的定义由Hearn于1984年提出,是指影响流体流动的岩性和岩石物理性质在内部相似的、垂向上和横向上连续的储集带,是油气开采的基本单元,也有人称为孔隙连通单元^[9,19]。近年来国内学者开展了利用聚类分析方法进行储层流动单元划分^[20,21],根据流动层带指标(FZI)划分储层流动单元的研究^[22]。如根据孔隙度、渗透率、层内渗透率纵向变异系数、含水饱和度和束缚水饱和度参数将储层划分为4类流动单元^[23]。上述成果为储层勘探开发提供了油气开采基本单元的依据。研究火山岩的储层流动单元从分析火山岩储层特征入手。火山机构类型控制着岩相的发育规模和产状,火山岩相控制着储层孔隙和裂缝的发育。由于营城组火山岩形成时间持续达20 Ma^[24],而每一期火山机构建造时间可能在数天、数年、最长可达数万年就完成,改造时间较长。由于各个时间段形成的火山机构在建造和改造过程中的环境相差较大,火山机构的储层物性差别较大。这就限制了不同火山机构之间的储层物性的可对比性,同时由于火山机构之中不同亚相的储层物性也存在较大差别,火山机构内部存在着不同级别的储层^[1],火山机构储层流动单元以储层物性较好的亚相为单元。

图3为庆深气田XS1-2-XS1-1井区的密井网岩相和储层流动单元对比图。该区井距约500 m,但在500 m的范围内岩相就发生了变化,根据岩相组合和地震反射特征可知,该区营城组一段由7个火山机构叠加形成,且可划分为两期喷发(图3A)。该区的火山岩段为产气段,火山岩底界为气层界线,所以XS1-2-XS1-1井区的火山岩产能仅受火山岩储层物性控制。在开发阶段根据岩心段

孔隙度和渗透率实测成果,结合火山岩段产能情况将火山岩储层划分为5类:自然产量高产、压后产量高产、压后产量工业、压后低产和干层^[25]。自然产量高产表明储层为高孔高渗;压后产量高产表明储层为高孔中一低渗;压后产量工业表明储层为中孔中一低渗;压后低产表明储层为中一低孔中一低渗;而干层表明储层为低孔低渗。勘探开发过程中希望将储层划分为上述的类型,并且期望能识别出各储层流动单元的分布,以便进行储量计算,同时有利于选择合适的开发井网间距方案和压裂方案。所以,在研究储层流动单元将之划分为4类:一类为高孔高渗(自然产量高产),二类为中一高孔中一低渗(压后产量高产或压后产量工业),三类为中孔中一低渗(压后低产),四类为低孔低渗(干层)。利用实测孔隙度和渗透率资料,结合上述储层分类标准,在火山机构岩相的控制下进行火山岩储层流动单元对比划分,图3B表明碎屑岩火山机构的储层流动单元规模在0.3~1.5 km,厚度小于60 m。

不同类型火山机构的有利相带规模均不同,所以不同类型的火山机构的储层流动单元规模均不同。据储层对比分析可知:复合火山机构的储层流动单元范围为1.5~3.0 km,厚度小于100 m;熔岩火山机构的储层流动单元范围为1~2 km,厚度小于80 m;碎屑岩火山机构的储层流动单元范围为0.3~1.5 km,厚度小于60 m。火山机构亚相规模的储层流动单元划分结果可用于开发早期的井距和压裂方案设计。

5 结论

(1)按火山机构的成分可以分为碎屑岩火山机构、熔岩火山机构和复合火山机构3种。再根据火山锥的数目将各类火山进行细分为8类,据88口钻井岩性统计可知碎屑岩火山机构、熔岩火山机构和复合火山机构均存在。

(2)碎屑岩火山机构岩性以碎屑熔岩和碎屑岩为主,占60%以上;岩相以爆发相热碎屑流亚相为主,占55%以上;亚相规模小于60 m;火山机构半径为0.5~1.5 km,高度为50~220 m。熔岩火山机构岩性以熔岩为主,占65%以上;岩相以喷溢为主,占60%以上;亚相模型小于80 m;火山机构半径为1~2 km,高度为200~300 m。复合火山机构岩性以熔岩和碎屑熔岩为主,岩相以爆发相和喷溢相为主;亚相规模小于100 m;火山机构半径为1~2

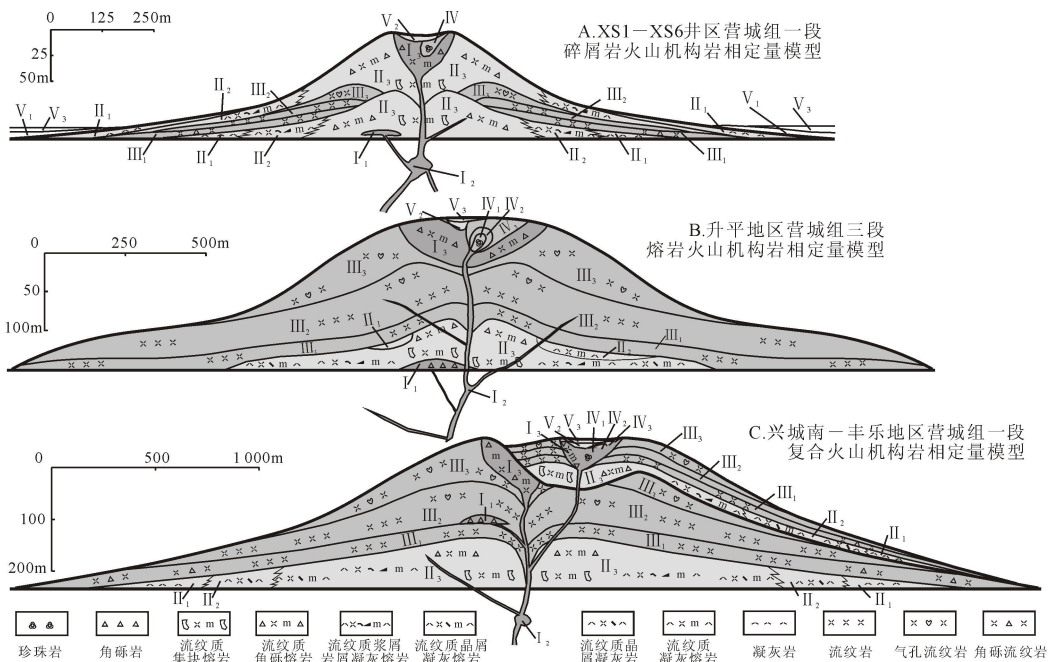


图 2 松辽盆地营城组埋藏火山机构岩相定量模型

Fig. 2 Facies quantitative model of buried volcanic edifice of Yingcheng Formation in Songliao Basin

I₂. 次火山岩亚相 V₁. 再搬运火山碎屑沉积岩; V₂. 含外碎屑火山碎屑沉积岩; V₃. 凝灰岩夹煤沉积; 其它同图 1

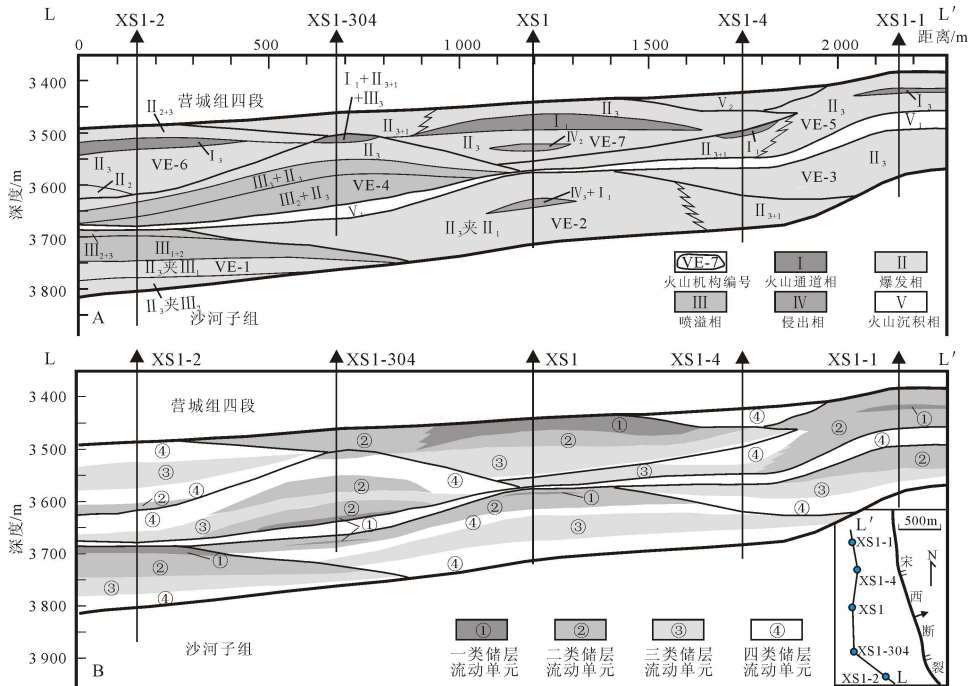


图 3 松辽盆地徐深 1-2 井-徐深 1-1 井区营城组埋藏碎屑岩火山机构岩相(A)和储层流动单元(B)特征

Fig. 3 Characteristics of facies(A) and reservoirs flow unit(B) of buried pyroclastic volcanic edifices of Yingcheng Formation from well XS1-2 to well XS1-1 in Songliao Basin

岩相如同图 1 和图 2; 一类储层流动单元: 孔隙度 ≥ 8%, 渗透率 ≥ 0.5 × 10⁻³ μm²; 二类储层流动单元: 8% > 孔隙度 > 3%, 0.5 × 10⁻³ μm² > 渗透率 > 0.05 × 10⁻³ μm²; 三类储层流动单元: 3% ≥ 孔隙度 ≥ 2%, 0.05 × 10⁻³ μm² ≥ 渗透率 ≥ 0.03 × 10⁻³ μm²; 四类储层流动单元: 孔隙度 < 2%, 渗透率 < 0.03 × 10⁻³ μm², 摘自文献[25]

km,高度为300~450 m。

(3)火山机构储层流动单元以储层物性较好的亚相为单位。碎屑岩火山机构的储层流动单元范围为0.3~1.5 km,厚度小于60 m。熔岩火山机构的储层流动单元范围为1~2 km,厚度小于80 m。复合火山机构的储层流动单元范围为1.5~3.0 km,厚度小于100 m。

参考文献(References):

- [1] 邵红梅,毛庆云,姜洪启,等.徐家围子断陷营城组火山岩气藏储层特征[J].天然气工业,2006,26(6):29-32.
SHAO Hong-mei, MAO Qing-yun, JIANG Hong-qi, et al. Reservoir characteristics of volcanic rock gas pool in Yingcheng Formation in Xujiaweizi fault depression[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(6): 29-32.
- [2] 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 Wan-zhu, WANG Pu-jun, MEN Guang-tian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in the Northern Songliao Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(1): 28-31.
- [3] 王璞珺,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 Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, 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.
- [4] 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 Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, 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.
- [5] 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):18-27.
WANG Pu-jun, CHEN Shu-min, LIU Wan-zhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic

- reservoirs in the Songliao Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(1): 18-27.
- [6] 李长山,陈建文,游俊,等.火山岩储层建模初探[J].地质前缘,2000,7(4):381-389.
LI Chang-shan, CHEN Jian-wen, YOU Jun, et al. Preliminary study on volcanic reservoir modeling[J]. Earth Sciences Frontiers, 2000, 7(4): 381-389.
- [7] 陈建文,王德发,张晓东.松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩相和火山机构分析[J].地质前缘,2000,7(4):371-379.
CHEN Jian-wen, WANG De-fa, ZHANG Xiao-dong. Facies and assemblage of the Xujiaweizi volcanic rocks of the Songliao Basin[J]. Earth Sciences Frontiers, 2000, 7(4): 371-379.
- [8] 黄玉龙,王璞珺,冯志强,等.松辽盆地改造残留的古火山机构与现代火山机构的类比分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(1):65-72.
HUANG Yu-long, WANG Pu-jun, FENG Zhi-qiang, et al. Analogy of physical features amongst modern, ancient and buried volcanoes, a case study from Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(1): 65-72.
- [9] 《地球科学大辞典》编委会.地球科学大辞典:基础学科卷[M].北京:地质出版社,2006.
Editorial Board of Geoscience Dictionary. Geosciences dictionary: basic science [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [10] Thouret J C. Volcanic geomorphology—an overview [J]. Earth-Science Reviews 1999, 47: 95-111.
- [11] Thordarson T, Larsen G. Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types eruption styles and eruptive history [J]. Journal of Geodynamics, 2007, 43: 118-152.
- [12] 金伯禄,张希友.长白山火山地质研究[M].延吉:东北朝鲜民族教育出版社,1994:66-72.
JIN Bo-lu, ZHANG Xi-you. Volcanic geology of the Changbai Mountain [M]. Yanji: Education Press of Northeastern Korean Nationality, 1994: 66-72.
- [13] Jackson J A. Glossary of geology, 4th ed [M]. Virginia: American Geological Institute, 1997: 695-699.
- [14] 杨峰平.松辽盆地徐家围子断陷火山岩及天然气成藏研究[D].北京:中国地质大学,2005:71-76.
YANG Feng-ping. The study on volcanic rocks and their natural gas accumulation of Xujiaweizi fault depression in Songliao Basin [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005: 71-76.

- [15] 刘嘉麒. 中国火山[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 137.
LIU Jia-qi. China volcano [M]. Beijing: Science Press, 1999: 137.
- [16] 张树业, 刘如曦, 常丽华, 等. 火成岩结构构造图册 [M]. 北京: 地质出版社, 1980: 124.
ZHANG Shu-ye, LIU Ru-xi, CHANG Li-hua, et al. Atlas of texture and structure of volcanic rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 124.
- [17] 唐华风, 王璞珺, 姜传金, 等. 松辽盆地火山岩相地震特征及其与控陷断裂的关系 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 73—78.
TANG Hua-feng, WANG Pu-jun, JIANG Chuan-jin, et al. Seismic characters of volcanic facies and their distribution relation to deep faults in the Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(1): 73—78.
- [18] 唐华风, 王璞珺, 姜传金, 等. 松辽盆地白垩系营城组隐伏火山机构物理模型和地震识别 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22(2): 530—536.
TANG Hua-feng, WANG Pu-jun, JIANG Chuan-jin, et al. Physical model and seismic recognition of concealed volcanic edifices of Yingcheng Formation in Songliao Basin, Cretaceous, NE China [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(2): 530—536.
- [19] Hearn C L, Ebanks W J, Tye R S, et al. Geological factors influencing reservoir performance of the Hartzog Draw Field, Wyoming [J]. Journal of Petroleum Technology, 1984, 36(9): 1 335—1 344.
- [20] 袁新涛, 彭仕宓, 刘国威. 地质条件约束下储层流动单元定量研究 [J]. 新疆地质, 2006, 24(2): 171—175.
YUAN Xin-tao, PENG Shi-mi, LIU Guo-wei. Quantitative research on the flow unit in reservoirs restricted by geologic factors [J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(2): 171—175.
- [21] 朱建伟, 刘招君, 董清水, 等. 升平油田升 132 井区储层流动单元研究 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(1): 67—72.
ZHU Jian-wei, LIU Zhao-jun, DONG Qing-shui, et al. The study of reservoir flow units of Sheng #132 well area in Shengping oilfield [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(1): 67—72.
- [22] 宋子齐, 陈荣环, 康立明, 等. 储层流动单元划分及描述的分析方法 [J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005, 20(3): 56—59.
SONG Zi-qi, CHEN Rong-huan, KANG Li-ming, et al. Analytical method for the division and description of reservoir flowing unit [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2005, 20(3): 56—59.
- [23] 高博禹, 彭仕宓, 陈焯菲. 储层动态流动单元及剩余油分布规律 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(2): 182—187.
GAO Bo-yu, PENG Shi-mi, CHEN Ye-fei. Reservoir dynamic flow unit and remaining oil distribution [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2005, 35(2): 182—187.
- [24] Wang Pu-jun, Liu Wan-zhu, Wang Shu-xue, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao Basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics [J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, 91(2): 331—340.
- [25] 曲延明, 舒萍, 纪学雁, 等. 松辽盆地庆深气田火山岩储层的微观结构研究 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(4): 721—725.
QU Yan-ming, SHU Ping, JI Xue-yan, et al. Micro-mechanism of Reservoir Volcanic Rocks in Qingshen Gas Fields of the Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(4): 721—725.