

# 基于测井资料三维地质建模的 火山岩气藏有利区预测

陈克勇<sup>1</sup>, 段新国<sup>1</sup>, 阮宝涛<sup>2</sup>, 李忠诚<sup>2</sup>, 史文选<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059;

2. 吉林油田分公司勘探开发研究院, 吉林 松原 138001)

**摘要:**针对长岭 1 号气田营城组孔隙型和孔隙—裂缝型火山岩气藏,从火山岩岩性分析入手,通过多种方法在对岩性识别的基础上,综合运用测井、地震和随机建模技术,建立了火山岩岩性分布模型,并进一步建立了物性参数三维地质模型,以精细刻画火山岩储层的储集性和含气性。利用成像测井、常规测井和地震分析方法,对裂缝的分布特征进行了分析,为分析火山岩储层的高渗带奠定了基础。在综合构造、岩性、孔隙性、含气性和裂缝性等多种因素影响的情况下,指出了气藏有利分布区块,为气藏的下一步开发指明了方向。

**关键词:**火山岩;长岭气田;岩性识别;物性解释;地质建模;裂缝分布

**中图分类号:**TE122.2<sup>+</sup>22

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2010)06-0931-08

## 0 引言

长岭气田位于吉林省前郭县查干花镇,距松原市 81 km,区域构造上处于松辽盆地南部长岭断陷中部凸起带上<sup>[1]</sup>。2005 年 9 月长岭气田长深 1 井在营城组火山岩气层中途测试获得高产气流,预示着松辽盆地南部深层火山岩储集层中蕴涵着丰富的天然气资源<sup>[2]</sup>。

长岭 1 号气田营城组火山岩气藏为孔隙型和孔隙—裂缝型,影响储层发育的最主要因素为火山岩岩性和构造活动。岩性是影响储集性能的关键<sup>[3]</sup>,不同的火山岩岩性其物性差异较大。构造活动对储层的控制作用主要表现在:第一,构造运动引发多火山口喷发,形成了多期次、多旋回的火山岩,使火山岩大面积叠合分布,成为形成储层的物质基础;第二,多期次的构造运动产生多期性的裂缝,既连通孤立的原生气孔,增大火山岩的储集空间,为油气运移提供有利通道,也促进溶解作用的发生,形成次生溶蚀孔隙,改善储层的储渗性能<sup>[4]</sup>。

本文在对火山岩岩性、物性分析及建模和裂缝分布特征研究的基础上,对火山岩气藏有利区进行

了预测,为长岭 1 号气田营城组火山岩气藏的进一步勘探开发提供了依据。

## 1 火山岩岩性识别与建模

### 1.1 岩性识别与划分

由于喷发方式和构造的不同,火山岩具有岩石类型多、定名和识别困难等特点<sup>[5]</sup>。目前,已有很多人尝试过对火山岩岩性的识别研究,并形成了相应的成果。火山岩岩性的识别主要是基于岩石学研究,结合测井资料,所使用的方法主要有常规测井交会图法<sup>[6]</sup>、主成分分析法<sup>[7]</sup>、神经网络法<sup>[8]</sup>和将 ECS 与常规测井及成像测井相结合的方法<sup>[9]</sup>。

本文对岩性的识别分为以下几步:①利用钻井取心、井壁取心及成像测井等资料对单井进行岩性识别;②分析各种岩性的常规测井响应特征;③建立各种岩性的神经网络及逐步判别识别模型;④对没有取心资料和成像测井资料的井进行岩性识别。

#### 1.1.1 岩心资料识别岩性

研究区的岩心资料包括钻井取心资料和井壁取心资料 2 种,通过对所有取心井岩心的观察描述和

110 块薄片资料的鉴定,识别出多种火山岩岩性,归纳起来主要有:致密流纹岩、气孔流纹岩、原地自碎角砾化熔岩、火山角砾岩、流纹质熔结凝灰岩和晶屑熔结凝灰岩等 6 种基本类型。根据成因可分为火山熔岩(致密流纹岩、气孔流纹岩和原地自碎角砾化熔岩)、火山碎屑岩(火山角砾岩和晶屑熔结凝灰岩)及沉火山碎屑岩(流纹质熔结凝灰岩)。

### 1.1.2 成像测井识别岩性

原地自碎角砾化熔岩由熔岩经机械破碎而成,

经风化淋滤后,角砾间常发育大量的砾间孔和溶蚀孔洞。因此,在 FMI 图像上呈现亮色与暗色杂乱的特点,亮色为角砾,暗色为砾间孔、洞。流纹质熔结凝灰岩和晶屑熔结凝灰岩在 FMI 图像上呈现低亮暗杂色的特点,有气孔发育时呈现杂色斑点状,发育大量气孔时,FMI 图像上呈现蜂窝状黑色小斑点。流纹岩具有典型的流纹构造特点,由于其通常较为致密,在 FMI 图像上往往呈现高亮度的特点,且有流纹构造图像显示(图 1)。

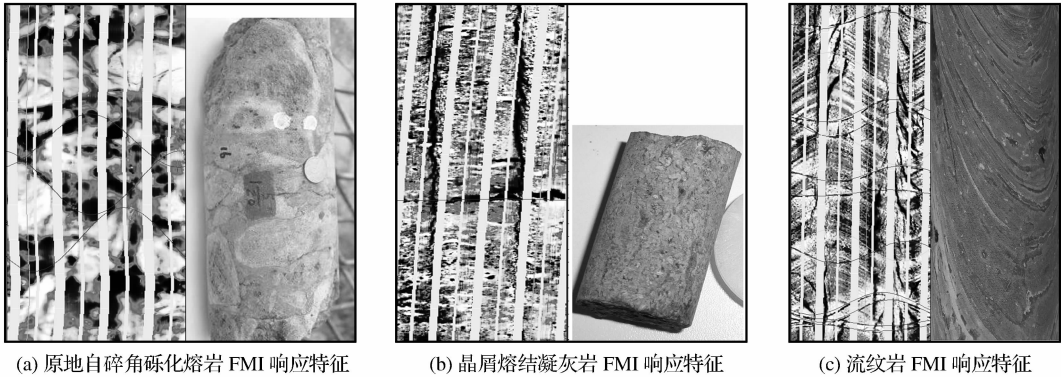


图 1 主要岩性的成像测井响应特征

### 1.1.3 常规测井划分岩性

根据岩心观察资料在单井上的标定,分别提取各岩性对应的常规测井曲线特征值[包括自然伽马(GR),声波时差(AC),中子密度(DEN),阵列侧向电阻率(RLA1—RLA5),深浅电阻率(RT,RXO)](表 1)。

分析不同岩性的常规测井响应特征得出,各岩性 GR 由小到大的排列顺序为:原地自碎角砾化熔岩<流纹质熔结凝灰岩<致密流纹岩<火山角砾岩<晶屑熔结凝灰岩<气孔流纹岩;AC 由小到大的排列顺序为晶屑熔结凝灰岩<致密流纹岩<气孔流

纹岩<流纹质熔结凝灰岩<火山角砾岩<原地自碎角砾化熔岩;DEN 由小到大的排列顺序为火山角砾岩<原地自碎角砾化熔岩<气孔流纹岩<流纹质熔结凝灰岩<致密流纹岩<晶屑熔结凝灰岩;电阻率由小到大的排列顺序为原地自碎角砾化熔岩<火山角砾岩<气孔流纹岩<致密流纹岩<晶屑熔结凝灰岩<流纹质熔结凝灰岩。

在岩性识别时,首先可以分辨出来的岩性是原地自碎角砾化熔岩、气孔流纹岩和火山角砾岩,对于流纹质熔结凝灰岩、致密流纹岩和晶屑熔结凝灰岩

表 1 不同火山岩岩性的常规测井响应特征值统计

岩性	火山角砾岩	晶屑熔结凝灰岩	流纹质熔结凝灰岩	气孔流纹岩	原地自碎角砾化熔岩	致密流纹岩
自然伽马/API	$\frac{123.4}{(88\sim 177)}$	$\frac{127.3}{(78\sim 187)}$	$\frac{117.0}{(70\sim 150)}$	$\frac{140.0}{(130\sim 160)}$	$\frac{108.1}{(75\sim 138)}$	$\frac{123.0}{(110\sim 183)}$
声波/ $(\mu\text{s}/\text{ft})$	$\frac{63.2}{(57\sim 69)}$	$\frac{56.8}{(52\sim 62)}$	$\frac{59.8}{(52\sim 70)}$	$\frac{58.7}{(57\sim 60)}$	$\frac{65.5}{(55\sim 73)}$	$\frac{58.0}{(52\sim 61)}$
密度/ $(\text{g}/\text{cm}^3)$	$\frac{2.423}{(2.31\sim 2.51)}$	$\frac{2.535}{(2.01\sim 2.63)}$	$\frac{2.457}{(2.12\sim 2.62)}$	$\frac{2.445}{(2.29\sim 2.54)}$	$\frac{2.434}{(2.33\sim 2.57)}$	$\frac{2.526}{(2.45\sim 2.62)}$
阵列感应测井 RLA/ $(\Omega \cdot \text{m})$	$\frac{66.3}{(21\sim 203)}$	$\frac{160.2}{(16\sim 834)}$	$\frac{81}{(21\sim 392)}$	$\frac{55.9}{(23\sim 160)}$	$\frac{33.3}{(4.8\sim 115)}$	$\frac{142}{(10\sim 481)}$
RXO/ $(\Omega \cdot \text{m})$	$\frac{38.0}{(28\sim 88)}$	$\frac{154.4}{(17\sim 867)}$	$\frac{85.7}{(20\sim 87)}$	$\frac{48.0}{(28\sim 76)}$	$\frac{34.1}{(5.6\sim 130)}$	$\frac{88.0}{(8\sim 381)}$
RT/ $(\Omega \cdot \text{m})$	$\frac{123.8}{(20\sim 270)}$	$\frac{171.5}{(13\sim 553)}$	$\frac{326.6}{(19\sim 645)}$	$\frac{64.8}{(23\sim 179)}$	$\frac{40.0}{(5\sim 109)}$	$\frac{86.9}{(13\sim 450)}$

注:  $\frac{\text{平均值}}{(\text{最小值}\sim\text{最大值})}$

3种岩性的判定,流纹质熔结凝灰岩与致密流纹岩和晶屑熔结凝灰岩相比,具有相对低密度特征,晶屑熔结凝灰岩与致密流纹岩在测井响应上的区别主要表现在电阻率上,晶屑熔结凝灰岩的电阻率一般大于 $100\Omega\cdot\text{m}$ ,致密流纹岩的电阻率一般小于 $100\Omega\cdot\text{m}$ 。

## 1.2 岩性(相)建模

以单井岩相分析为基础数据(硬数据),以三维地震速度反演的约束数据为软数据,通过变差函数分析,以基于象元的序贯指示随机模拟方法,以火山岩体为建模单元,建立火山岩岩相模型。

### 1.2.1 火山体的划分

长岭气田营城组火山岩纵向上分为3个期次,由下到上分别为I期、II期和III期,I期和II期主要位于气—水界面以下,为水层。在三维地震剖面上,能分辨出营城组火山岩各期次的顶面、底面,其中包括第III期火山岩的长深1火山体、长深103火山体和长深1-1火山体这3个火山体的顶面。本文就针对第III期的长深1火山体、长深103火山体和长深1-1火山体建立三维岩相模型。

### 1.2.2 三维地震速度反演

三维地震速度反演数据体是在目的层波阻抗反

演数据体中提取的。首先经过基础数据的整理(包括井的选取和测井曲线的校正),在STRATA软件中,准确标定层位后,建立低频模型,并基于低频模型,建立高频的波阻抗反演,并从波阻抗数据体中分离出来速度体。

根据单井岩性解释结果和三维地震速度反演结果,提取每一种岩性的地震速度特征值。3个火山体内,不同的岩性地震速度范围彼此有差异,各岩性的速度平均值呈现的基本规律为:原地自碎角砾化熔岩<气孔流纹岩<火山角砾岩<晶屑凝灰岩<流纹岩<流纹质熔结凝灰岩。

### 1.2.3 火山岩岩性(相)建模

分别以3个火山体为建模单元,通过相数据分析、相概率分析、相分布变差函数分析,以单井岩性(相)解释结果为基础数据(硬数据),根据统计出的岩性与地震速度的关系,将地震速度体数据作为岩相预测的约束数据(软数据),采用基于象元的序贯指示模拟方法和协同克立金方法建立了火山岩三维岩相模型,经模型三维可视化分析,提取各岩性的三维展布特征(图2),为火山岩储层合理的勘探与开发奠定基础。

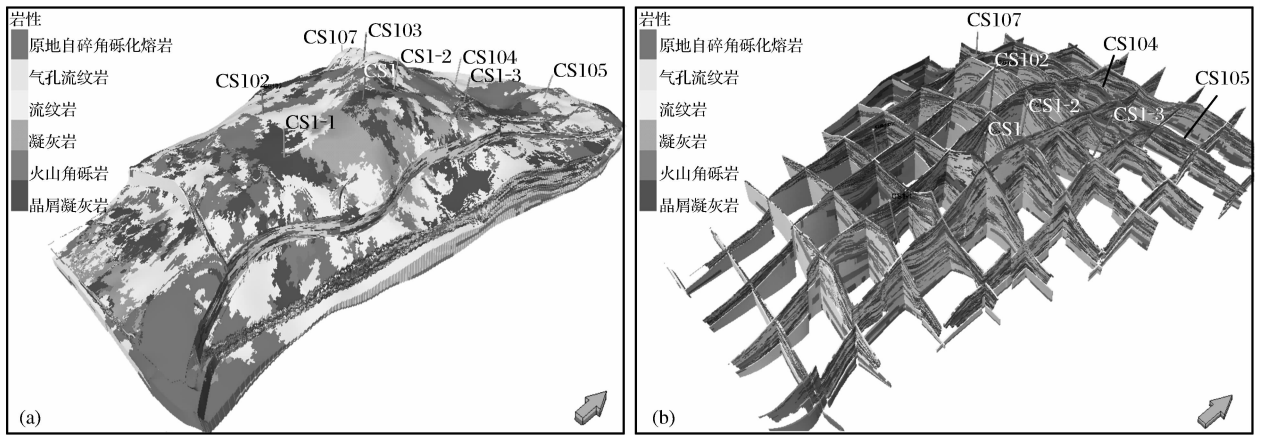


图2 火山岩岩相模型(a)及栅状特征(b)

## 2 物性参数常规测井解释

火山岩作为有效的油气储层被发现已有较长的时间,但由于其复杂的岩性、物性特征,使得目前对火山岩物性的研究主要依靠的是特殊测井方法,关于利用常规测井资料解释火山岩储层物性参数的研究还较薄弱。单一的常规测井对火山岩储层物性的解释具有多解性,本文利用BP神经网络方法,优选多条与物性参数有明显相关性的测井曲线来解释长岭1号气田营城组火山岩储层单井物性参数,达到

了较好的效果。

### 2.1 孔隙度解释模型

长岭1号气田营城组常规测井曲线包括自然伽马(GR)、声波时差(AC)、密度(DEN)、阵列侧向电阻率测井(RLA1—RLA5)、深浅电阻率测井(RT、RXO)共10条,根据对收集到的常规测井资料与岩心物性分析资料综合分析,认为不同的测井曲线对火山岩孔隙度有不同的响应特征。

用于孔隙度预测的模型采用的是3层BP神经网络模型<sup>[10]</sup>,输出层单元只有一个,即期望输出孔

隙度,选用的是岩心数据分析实测值。经对神经网络的预测性能进行检验,网络解释的孔隙度与实测孔隙度相关性均较高,拟合度  $R^2$  达到了 0.903,由此可知我们选取的 BP 网络模型及样本具有很好的预测能力。

### 2.2 渗透率解释模型

研究中采集到长深 1 气田营城组火山岩岩心常规物性分析样品 73 块,其中完成孔隙度分析 73 块,渗透率分析 62 块。经岩心常规物性分析统计,孔隙度分布范围主要在 0.1%~14% 之间,平均值为 6.9%;渗透率分布范围主要在  $(0.01\sim 2)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$  之间,平均值为  $0.131\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

根据 62 块岩心物性分析数据统计,孔隙度与渗透率有较好的相关关系。根据实际分析,得出孔隙度与渗透率的相关关系式为:

$$K=0.0147\times e^{0.1955\phi}$$

式中: $K$  为渗透率; $\phi$  为孔隙度。孔隙度与渗透率符合上述关系表达式的相关系数  $R^2=0.7054$ 。渗透率的解释是在孔隙度模型解释的基础上,利用孔隙度与渗透率的相关式实现渗透率的测井解释。

### 2.3 含水饱和度解释模型

用传统的阿尔奇公式解释火山岩储层含水饱和度效果较差<sup>[11]</sup>。神经网络建立含水饱和度的预测

计算模型,就是实现测井信息与含水饱和度之间的一种非线性映射。采用输入曲线为 AC、DEN、RT 和孔隙度的神经网络模型来求解含水饱和度,经 BP 神经网络训练好的网络模型计算检测样本,拟合度  $R^2$  达到了 0.905,达到了满意的效果。

## 3 三维孔隙度建模研究

以 3 个火山体为建模单元,通过数据正态变换、各岩相内孔隙度分布特征值统计(表 2)、孔隙度分布变差函数分析,以单井孔隙度解释结果为基础数据,以建立的三维岩相模型为控制条件,采用序贯高斯模拟方法和协同克立金方法建立了火山岩三维孔隙度分布模型,经模型三维可视化分析,提取孔隙度的三维展布特征(图 3)。

## 4 含水饱和度建模

长岭气田火山岩气藏含水饱和度的分布主要受构造的控制,用单纯的随机建模方法难以准确预测其分布,本文火山岩含水饱和度建模,采用的方法是以单井含水饱和度分析为硬数据,以含水饱和度三维地震反演为软数据,通过数据正态变换、变差函数分析,以序贯高斯随机模拟方法和协同克立金方法,建立火山岩含水饱和度模型。

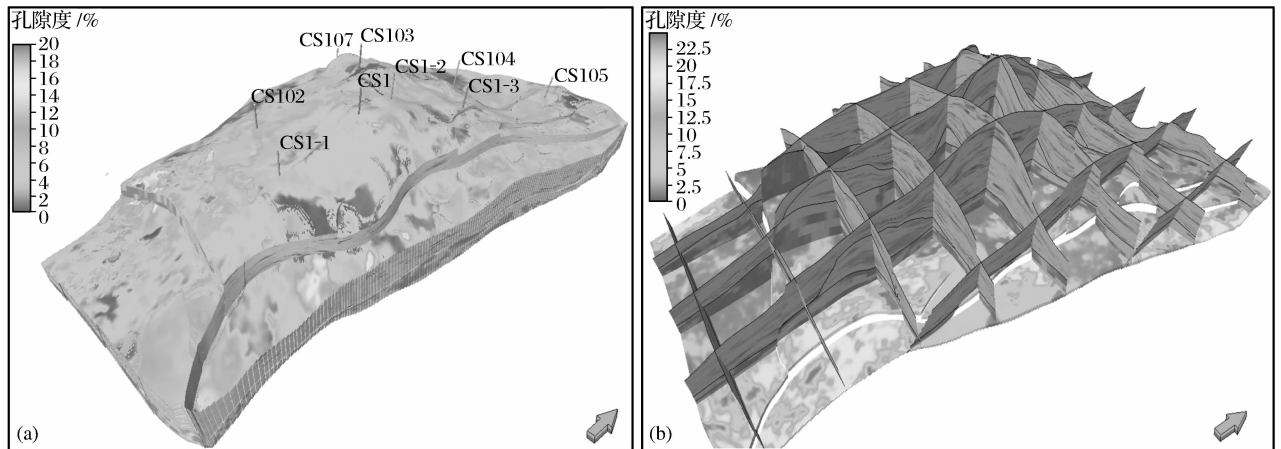


图 3 孔隙度分布模型(a)及栅状特征(b)

表 2 火山体内各岩性孔隙度分布特征值统计

岩性	长深 1 火山体			长深 103 火山体			长深 1-1 火山体		
	最大值/%	最小值/%	平均值/%	最大值/%	最小值/%	平均值/%	最大值/%	最小值/%	平均值/%
原地自碎角砾化熔岩	17.52	3.67	9.64	17.98	5.95	9.96	10.07	3.17	7.62
气孔流纹岩	24.99	0.59	7.63	10.93	3.83	7.66	7.12	2.88	4.48
流纹岩	14.04	0.52	5.33	11.26	1.89	5.73	6.24	1.03	3.1
流纹质熔结凝灰岩	5.35	0.11	3.37	5.14	1.23	3.01	5.71	0.93	3.86
火山角砾岩	8.09	5.89	7.52	10.22	2.87	7.34	9.35	2.97	5.57
晶屑凝灰岩	9.59	1.91	5.4	—	—	—	—	—	—

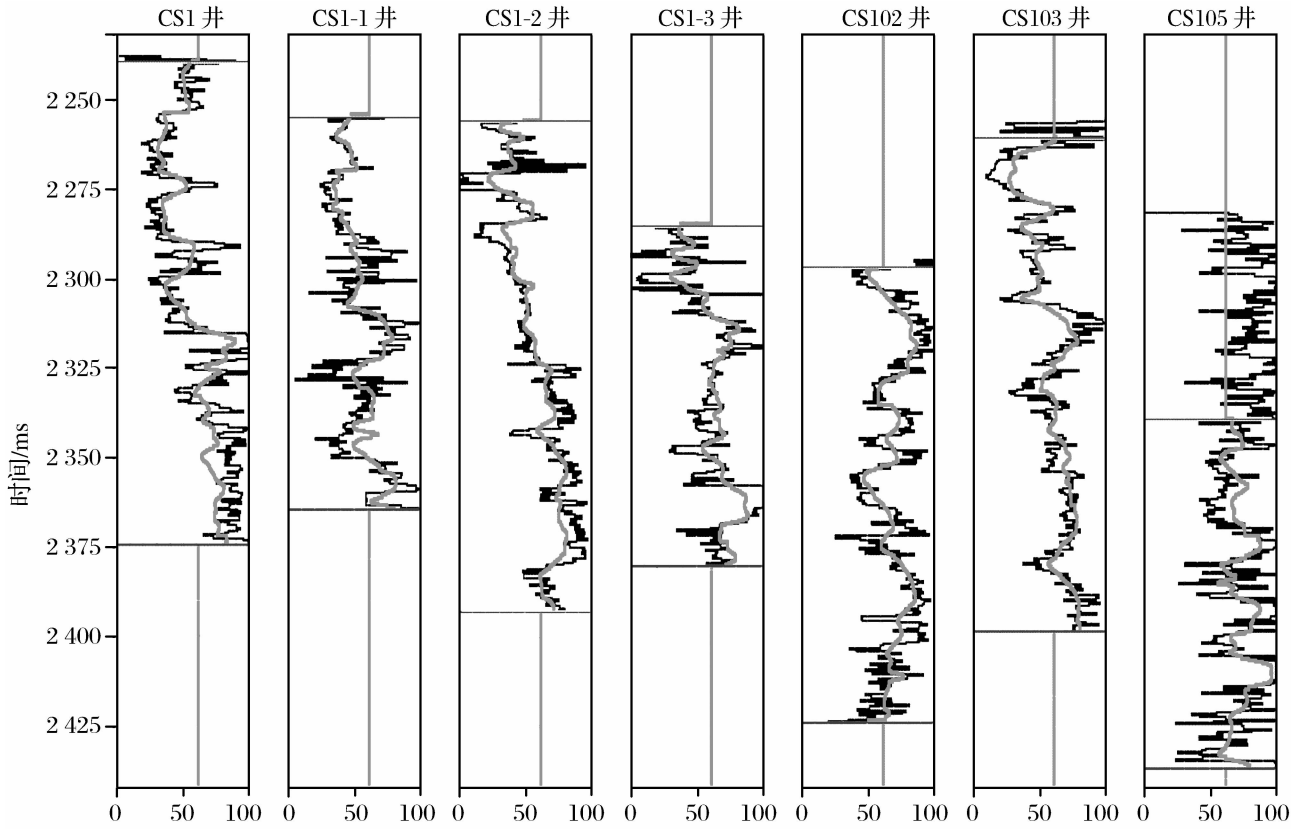


图4 BP网络预测  $S_w$  与原始  $S_w$  对比

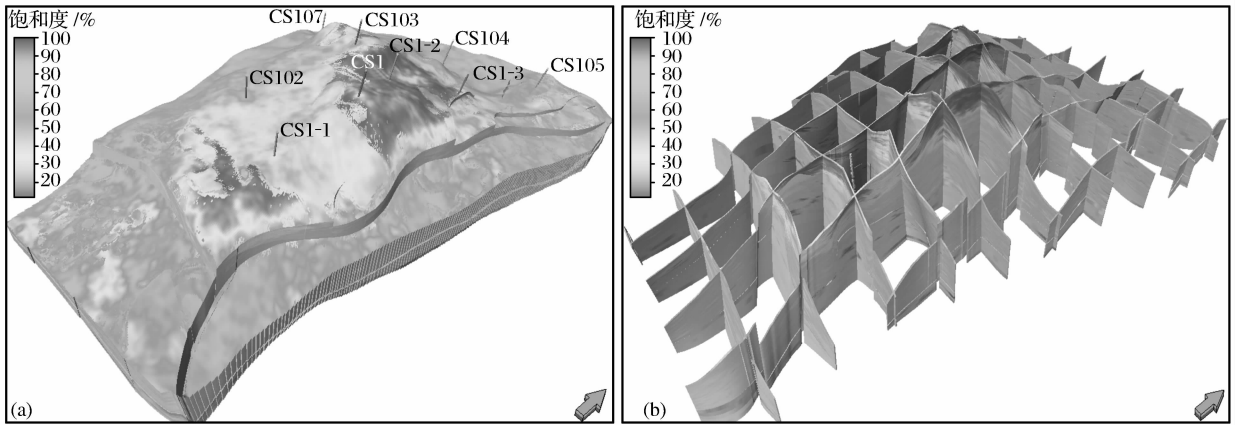


图5 含水饱和度分布模型(a)及其栅状特征(b)

### 4.1 含水饱和度地震反演

多属性反演的主要思想是从已知井点处出发,进行地震属性与井点处储层物性之间的关系分析,从而找出与储层物性甚至含流体情况相关程度较高的地震属性,并用这些属性在整个研究区进行储层预测。

通过引入神经网络,在每一口井上都得到一条预测曲线,如图4所示,井中黑线为含水饱和度的原始曲线,淡灰线为含水饱和度的预测曲线。从图4可以看出,预测曲线与原始曲线基本一致,说明拟合

效果好,应用神经网络技术实现的多属性地震反演预测的含水饱和度准确可信。

### 4.2 模型的建立

通过含水饱和度数据正态变换、分布概率分析、分布变差函数分析,以单井含水饱和度解释结果为基础数据(硬数据),根据神经网络建立的地震反演含水饱和度与单井解释的含水饱和度的相关系数为0.8322,将地震反演含水饱和度数据体作为含水饱和度的预测的约束数据(软数据),设定约束值为0.8322,采用序贯高斯模拟方法和协同克立金方法

建立了火山岩三维含水饱和度分布模型(图 5)。

## 5 裂缝分布特征

### 5.1 裂缝在 FMI 测井上的响应

研究区可识别的裂缝从成因上可分为构造缝、成岩缝和钻井诱导缝,构造缝主要以高角度缝和斜交缝为主,成岩缝则以低角度缝和斜交缝为主。

高导(开启)构造缝在 FMI 图像上表现为深色(黑色)的正弦曲线,连续性比较好,为钻井泥浆侵入所致(图 6)。高导微裂缝在 FMI 图像上多数表现为深色(黑色)与流纹线理面斜交的正弦曲线,部分为形状不规则的正弦曲线。裂缝内有充填现象,连续性相对较差(图 7)。

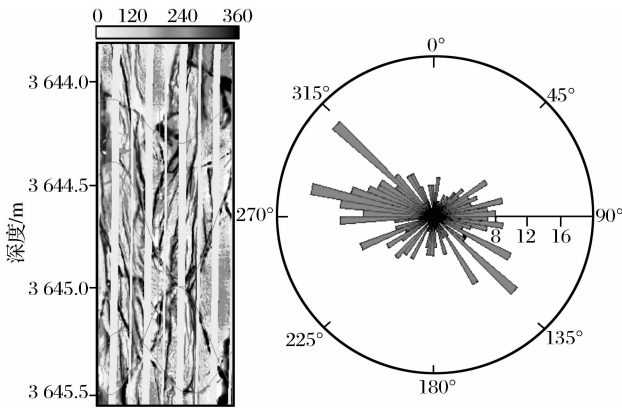


图 6 高导构造缝 FMI 响应特征及方向统计

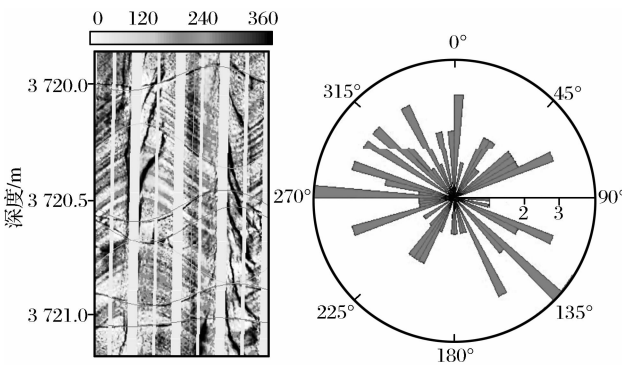


图 7 高导微裂缝 FMI 响应特征及方向统计

高阻(充填)缝在 FMI 图像上表现为相对高阻(浅色—白色)正弦曲线,是高阻物质充填裂缝或裂缝闭合而成。对于储层来说是无效的裂缝,研究区高阻缝多为闭合缝,高阻缝在研究区不太发育,少量发育在晶屑熔结凝灰岩中,发育方向规律性也不强。

钻井诱导缝为钻井过程中产生的裂缝,其最大特点是沿井壁的对称方向出现,呈羽状或雁列状。研究区多数诱导缝为高角度羽状对称裂缝,规律性很强,与区域的地应力场是一致的。

### 5.2 裂缝在常规测井上的响应

营城组火山岩的常规测井资料主要有阵列感应、密度、声波及中子测井等。常规测井对裂缝是一个综合响应,不能分辨裂缝的产状和形态。常规测井资料主要能反映高导构造缝和高导微裂缝的发育情况,而高阻缝在常规测井上没有明显的反映。

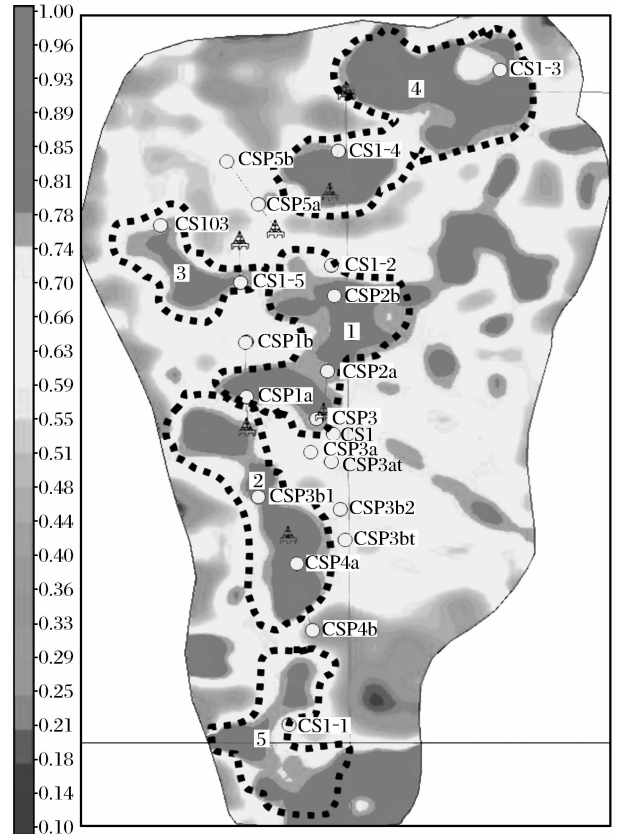


图 8 含气段裂缝密度平面分布(据张梅华<sup>①</sup>, 2008)

利用常规测井资料的密度、声波、中子及侧向电阻率异常等,在研究区,裂缝发育段:在电阻率曲线上表现为中阻( $20 \sim 160 \Omega \cdot m$ ),正差异,声波时差大于  $177 \mu s/m$ ,密度小于  $2.58 g/cm^3$ 。

### 5.3 裂缝发育与岩性的关系

营城组火山岩储层的储集空间为裂缝—孔隙型和孔隙型,不同的岩石类型,其裂缝的发育程度有很大差别。实际应用中我们常用裂缝孔隙度来表征裂缝的发育程度。经统计,原地自碎角砾化熔岩段裂缝最为发育,其次是气孔流纹岩,最差是晶屑熔结凝灰岩和致密流纹岩。

### 5.4 裂缝平面分布特征

在综合多种叠前地震、地质等属性对裂缝发育

<sup>①</sup> 张梅华,郭海华.长岭 1 号气田裂缝分布规律研究.内部报告, 2008.

方向、密度解释的基础上,对研究区裂缝储层做了综合描述。由方位角振幅各向异性强度分析得到的裂缝密度数据,反映储层各向异性有关的裂缝发育程度;由应力场分析得到的构造应变强度数据,反映与构造有关的裂缝的发育程度。

从营城组第Ⅲ期火山岩气水界面之上裂缝发育带位置图(图 8)上可以看出,裂缝成条带状分布,其主要发育在构造高部位和斜坡带上。

储层裂缝发育有利区带共有 5 个,呈条带状分布,主要发育在构造高带及斜坡地带,构造裂缝发育带主要分布于断层附近。裂缝方向以北西西—南东东向为主(近东西向),以近南北向为辅,与区域构造应力方向一致。

## 6 有利区预测

### 6.1 构造有利区块

研究区整体为一大背斜构造,被数条断层复杂化,但整体构造特征明显,说明研究区气藏受大的构造背景控制。构造高带是天然气运聚的有利地带。

### 6.2 岩性分布有利区块

原地自碎角砾化熔岩和气孔流纹岩所形成的储层孔隙度大,渗透性好,因此这 2 类岩性的分布区块是研究区的有利区块。

### 6.3 孔隙度分布有利区块

孔隙度是反映储层储集性能的重要参数,气水界面以上孔隙度整体较好,孔隙度大于 6% 的区块(基本为Ⅱ类储层区块)所占面积较大,为天然气分布的有利地带。

### 6.4 裂缝分布有利区块

裂缝对于火山岩储层聚集成藏起到至关重要的作用,因此裂缝发育带是储层产能有利的分布区块,裂缝主要分布在构造高带和斜坡地带。

### 6.5 储量分布有利区块

通过建模预测了营城组气藏气水界面以上天然气储量,储量丰度高的区块为天然气聚集的有利区块。

### 6.6 综合有利区块预测

在综合考虑了以上构造、岩性、孔隙度、裂缝及储量丰度有利区块预测的基础上,绘制了研究区综合有利区块分布图(图 9)。有利区块位于构造高带的原地自碎角砾化熔岩和气孔流纹岩 2 种岩性分布较好、孔隙度大、裂缝发育以及储量丰度高。

## 7 结论

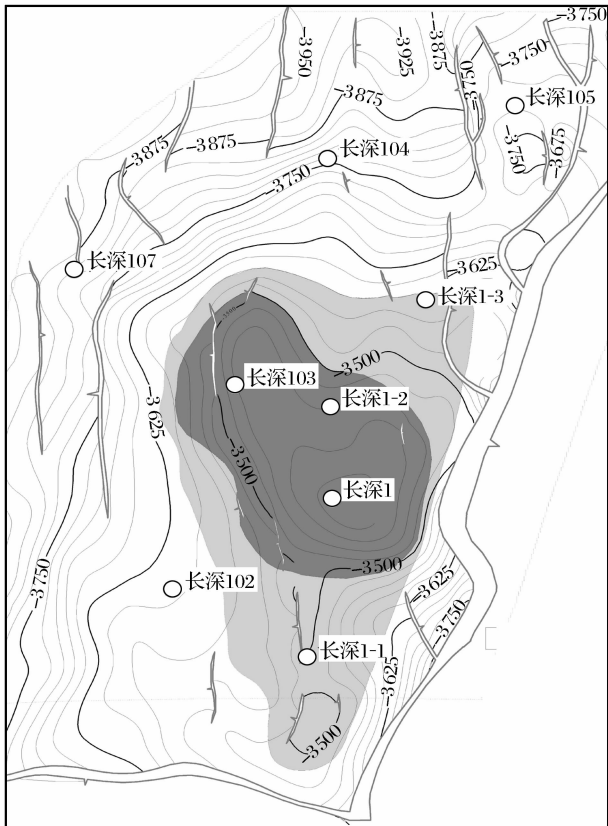
(1)研究区气藏为一大构造背景下的构造气藏,局部受岩性控制。研究区最有利区块基本都位于构造的高带上,但并没有与构造高点完全匹配,说明气藏在一定程度上受到岩性控制。

(2)有利区带为火山喷发的有利位置。在研究区共有 3 个火山口,最有利地区分布在长深 103 和长深 1 这 2 个火山口之间,因为这 2 个火山体爆发强度大,在火山口附近泻压速度快,容易形成气孔流纹岩,喷发周期长,形成大量原地自碎角砾化熔岩和气孔流纹岩,从而在该区块形成储渗性能很好的储层。

(3)有利区带也为裂缝发育带。研究区裂缝发育带主要集中在构造高部位和斜坡带。有利区块也分布在构造高带和斜坡地带,与裂缝发育带一致。

### 参考文献:

[1] Sun Yuanhui, Shen Pingping, Ruan Baotao, et al. Lithologic and storage-permeation characteristics of Changshen 1 volcanic gas reservoirs in Jilin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19



最有利区域 较有利区域 井位及井号 等值线 断层

图 9 气藏有利区分布预测

- (5):630-633. [孙圆辉,沈平平,阮宝涛,等. 松辽盆地长岭断陷长深1号气田火山岩岩性及储渗特征研究[J]. 天然气地球科学,2008,19(5):630-633.]
- [2] Sun Yuanhui, Song Xinmin, Ran Qiquan, *et al.* Lithologic and lithofacies characteristics of volcanic rock and their control over reservoirs, Changling gasfield[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(1): 68-73. [孙圆辉,宋新民,冉启全,等. 长岭气田火山岩岩性和岩相特征及其对储集层的控制[J]. 石油勘探与开发,2009,36(1):68-73.]
- [3] Yi Wanshun, Jia Chunming. Reservoir characteristic description and the main control factors analysis of Carboniferous volcanic reservoir in Chepaizi prominence, Junggar basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2009, 27(1): 49-52. [伊万顺,贾春明. 准噶尔盆地车排子凸起石炭系火山岩储层特征及主控因素[J]. 新疆地质,2009,27(1):49-52.]
- [4] Qiu Liangui. Analysis of major control factors of Yingcheng Formation volcanic reservoir in Yaoyingtai area of Changling depression[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2009, 31(3): 179-184. [邱连贵. 长岭断陷腰英台地区营城组火山岩成藏主控因素分析[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(3): 179-184.]
- [5] Yuan Yunfeng, Qin Qirong, Xiao Fengxue, *et al.* The developing state of volcanical lithology recognizing techniques[J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2007, (5): 270-272. [袁云峰,秦启荣,肖凤学,等. 火山岩岩性识别技术发展现状研究[J]. 内蒙古石油化工,2007,(5):270-272.]
- [6] Zhao Jian, Gao Fuhong. Application of crossplots based on well log data in identifying volcanic lithology[J]. *World Geology*, 2003, 22(2): 136-140. [赵建,高福红. 测井资料交会图法在火山岩岩性识别中的应用[J]. 世界地质,2003,22(2):136-140.]
- [7] Chen Liying, Wu Haibo, Xing Libo. Complex igneous rock lithologic logging recognition and numerical process of logging data[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2005, 27(6): 877-879. [陈立英,吴海波,邢丽波. 火成岩复杂岩性测井识别及测井资料数字处理[J]. 石油天然气学报,2005,27(6):877-879.]
- [8] Zhou Bo, Li Zhoubo, Pan Baozhi. A study on lithology identification methods for volcanic rocks[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2005, 35(3): 394-397. [周波,李舟波,潘保芝. 火山岩岩性识别方法研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2005,35(3):394-397.]
- [9] Wang Yongjun, Zhou Xuefeng, Wu Haizhong, *et al.* A new technique of lithologic identification for volcanics[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2006, 13(3): 86-88. [王拥军,周雪峰,吴海忠,等. 火山岩岩性识别新技术[J]. 断块油气田,2006,13(3):86-88.]
- [10] Lian Chengbo, Li Hanlin, Qu Fang, *et al.* Prediction of porosity based on BP artificial neural network with well logging data[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(3): 382-384. [连承波,李汉林,渠芳,等. 基于测井资料的BP神经网络模型在孔隙度定量预测中的应用[J]. 天然气地球科学,2006,17(3):382-384.]
- [11] Chen Zhongqiang. Model for saturation simulation in volcanic reservoirs and its application[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2006, 28(3): 79-81. [陈忠强. 火山岩储层的饱和度模型研究及应用[J]. 江汉石油学院学报,2006,28(3):79-81.]

## Favorable Area Prediction of Volcanical Gas Pool Based on Three Dimensional Geological Modeling Built by Well-logging Data

CHEN Ke-yong<sup>1</sup>, DUAN Xin-guo<sup>1</sup>, RUAN Bao-tao<sup>2</sup>, LI Zhong-cheng<sup>2</sup>, SHI Wen-xuan<sup>2</sup>

(1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Exploration and Development Research Institute of Jinlin Oilfield, PetroChina, Songyuan 138001, China)

**Abstract:** The volcanic reservoir in Yingcheng Formation for Changling-1 gas pool is characterized as pore or pore-fracture types. We used many research ways to identify volcanic lithology, and setup model of volcanic lithology distribution by means of integrating well-logging, 3D seismic and stochastic modeling. The 3D geological model of physical property built was used to describe the porosity and show gas in volcanic reservoir. The fractures distribution was determined by FMI well-logging, general well-logging and seismic integration, which contributed to predict the high permeability area in volcanic reservoir. The profitable areas for gas pool were predicted by means of tectonic, lithology, pore, show gas, fissure, etc. which would give a proposal for future exploration of natural gas.

**Key words:** Volcanic; Changling gas pool; Lithology recognize; Physical property interpretation; Geological modeling; Fracture.