



## 测井曲线概率分布法识别四川盆地火山岩气水层

张丽华, 潘保芝, 单刚义

吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026

**摘 要:** 火山岩的矿物成分复杂, 主要矿物有石英、正长石、斜长石、云母、角闪石、辉石和橄榄石。不同岩性的储层物性和孔隙结构类型各不相同, 这给火山岩气水层判别造成很大困难。基于测井资料, 首先采用中子-密度交会图的方法求取孔隙度, 然后结合实验室的岩电参数以及测井的电阻率曲线, 构建  $P^{1/2}$  概率分布曲线, 根据概率曲线的分布形态来识别火山岩的气水层。将研究方法应用到四川盆地的火山岩储层, 对气水层进行了判别, 解释结论与试气结论符合。说明可以应用这些方法识别四川盆地火山岩储层的气水层, 可以指导其他岩性储层的气水层识别。

**关键词:** 火山岩; 气水层识别; 中子-密度交会; 测井曲线; 胶结指数; 四川盆地

## IDENTIFICATION OF GAS-WATER ZONES IN VOLCANIC RESERVOIRS IN SICHUAN BASIN BASED ON PROBABILITY DISTRIBUTION OF LOGGING CURVES

ZHANG Li-hua, PAN Bao-zhi, SHAN Gang-yi

College of Geo-Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

**Abstract:** The mineral compositions of volcanic rocks are complex, including mainly quartz, orthoclase, plagioclase, mica, hornblende, pyroxene and olivine. Due to various reservoir properties and pore structure types of different lithology, it is difficult to identify gas-water zones in volcanic rocks. Based on the logging data, first, the method of neutron-density crossplot is used to calculate porosity, and then the  $P^{1/2}$  probability distribution curve is constructed combined with the laboratory rock electrical parameters and logging resistivity curve to identify volcanic gas-water zone according to the distribution pattern. The method is applied to the volcanic reservoirs in Sichuan Basin to identify the gas-water zones, and the interpreting conclusion is consistent with the gas testing results, indicating that the method is feasible and effective, and can guide the identification of gas-water zones in other lithology reservoirs.

**Key words:** volcanic rock; gas-water identification; neutron-density crossplot; logging curve; cementation index; Sichuan Basin

### 0 引言

近年来, 随着石油勘探开发技术的发展, 复杂岩

性、低孔低渗等特殊类型复杂油气藏在石油勘探中的地位变得日益重要<sup>[1-2]</sup>, 复杂储层流体性质识别近年来

收稿日期: 2021-01-25; 修回日期: 2021-03-04. 编辑: 张哲.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“深部超临界热储流体-岩石综合电性特征与电磁响应研究”(NSFC 42074119).

作者简介: 张丽华(1974—), 女, 博士, 正高级工程师, 从事石油地球物理测井的处理与解释研究, 通信地址 吉林省长春市西民主大街 938 号, E-mail//zhanglh@jlu.edu.cn

通信作者: 单刚义(1970—), 男, 博士, 高级工程师, 从事地震数据处理与解释研究, 通信地址 吉林省长春市西民主大街 938 号, E-mail//shangangyi@jlu.edu.cn

备受关注. 以往很多研究人员对流体性质识别方法进行了研究. 张丽华等<sup>[3]</sup>利用纵横波数据预测长岭地区火山岩流体性质; 梁从军等<sup>[4]</sup>将测井与录井相结合识别油水层; 李舟波<sup>[5]</sup>结合电成像测井和核磁识别复杂油气储层的流体性质; 桂金咏等<sup>[6]</sup>结合统计理论, 优选出不受背景岩性与流体类型数目影响的流体因子, 从而进行流体识别; 隋泽栋等<sup>[7]</sup>采用功指数比值与录井含油性参数建立了功指数比值-气测显示厚度比图版来识别油气水层; 凡睿等<sup>[8]</sup>应用 Fisher 判别分析法对川东北地区须家河组致密砂岩储层的流体进行了识别, 等等<sup>[9-12]</sup>. 可以看出, 识别储层流体的方法虽多, 但适用于火山岩储层流体识别的方法见于文献的不多. 对于火山岩这类复杂储层而言, 油气水层在电阻率测井和声波测井方法上的响应受到地层岩性、孔隙结构等多种因素的影响, 响应特征不明显, 需要在常规测井的基础上增加数学手段来研究复杂储层油水识别方法.

通过对收集到四川盆地多口井的录井、岩心、薄片等资料分析得出, 研究区火山岩主要分为玄武质熔岩、

含灰岩角砾碎屑熔岩、玄武质火山碎屑熔岩、凝灰岩、沉凝灰岩 5 类. 侵入岩分为粗粒玄武岩(粒玄武岩)和辉绿岩两类<sup>[13-14]</sup>. 由于岩性复杂, 不同岩性的储集空间类型和组合特征又存在差异, 增加了应用测井资料识别火山岩流体的难度. 本研究在应用中子-密度交会图准确计算孔隙度的基础上, 构建  $P^{1/2}$  概率分布曲线来识别储层的流体性质.

### 1 火山岩的孔隙特征与三重孔隙模型

基于岩心铸体薄片观察及电成像测井, 已经明确火山岩储集空间主要有孔隙和裂缝. 孔隙包括原生孔隙、次生孔隙. 原生孔隙主要为原生气孔和粒间孔(图 1a). 次生孔隙主要为斑晶溶蚀孔和基质溶蚀孔(图 1b). 裂缝分为构造裂缝(图 1c)和微裂缝(图 1d). 整体上看, 在本地区火山岩中原生缝少见, 可见到矿物晶间收缩缝、原生节理缝等, 主要发育在浆屑或多孔熔岩中. 岩浆结晶冷凝过程中, 早期的结晶矿物收缩生成冷凝收缩缝和原生节理等. 而次生孔隙中的构造裂缝

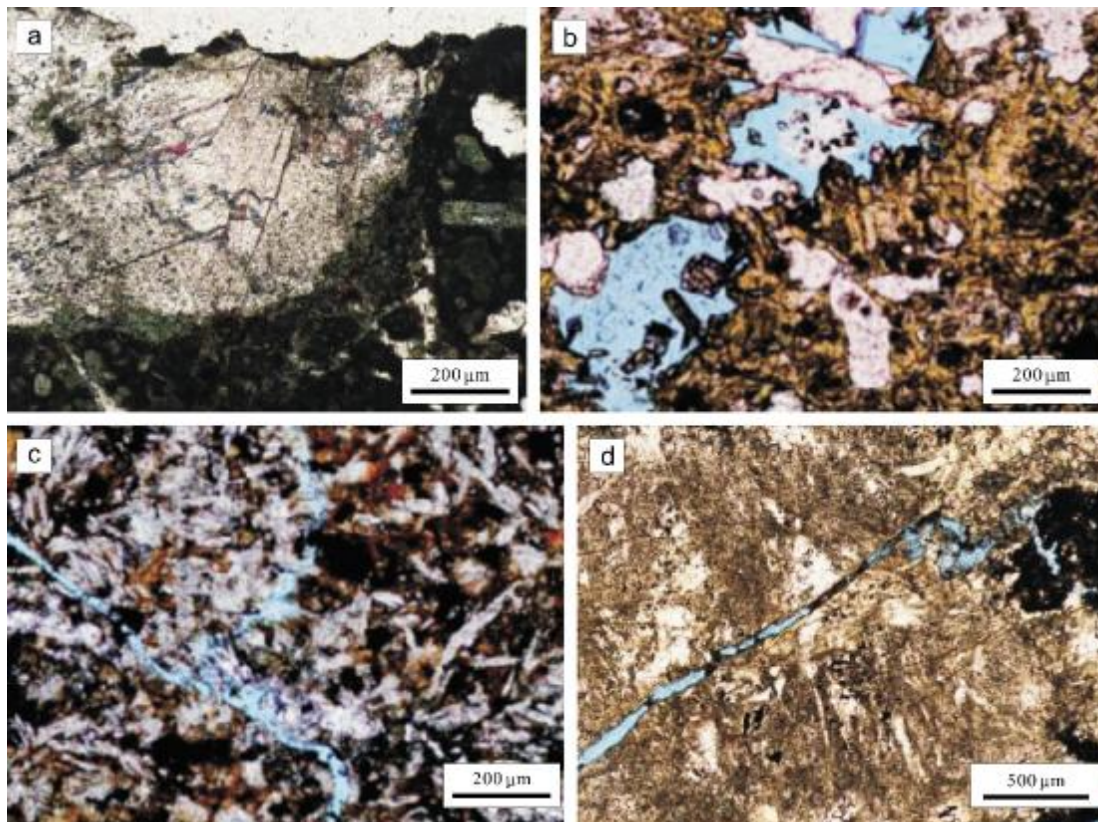


图 1 岩石薄片中的孔隙和裂缝特征

Fig. 1 Microphotographs showing the characteristics of pores and fractures in rock thin sections

a—原生孔隙(primary pore); b—次生孔隙(secondary pore); c—构造裂缝(structural fissure); d—微裂缝(microfracture)

是因为应力作用而产生的,通常发生在局部,但是也会出现规模较大的缝(图 1c),延长有大有小,多呈面状延伸.从现有资料判断,本地区火山岩的孔隙主要为溶蚀孔,裂缝发育情况与其他地区相比较少.

Aguilera 等<sup>[15]</sup>提出了一个用于储层评价的包含基质、裂缝和非连通孔洞的三重孔隙模型,其导电机理是基质和裂缝并联导电,然后再与非连通孔洞串联导电.在此基础上,推导出计算这个复合系统的胶结指数( $m$ )的公式如下:

$$m = \frac{-\log\left(v_{nc}\phi + \frac{1-v_{nc}\phi}{v\phi + \frac{1-v\phi}{\phi_b^{-m_b}}}\right)}{\log\phi} \quad (1)$$

式中,  $v$  为配分系数,  $v = \phi_2/\phi$ ;  $v_{nc}$  为孔洞孔隙度比,  $v_{nc} = \phi_{nc}/\phi$ ;  $\phi$  为总孔隙度;  $\phi_b$  为与基质系统总体积有关的基质孔隙度;  $\phi_m$  为与复合系统总体积有关的基质孔隙度;  $\phi_{nc}$  为非连通孔洞孔隙度;  $\phi_2$  为天然裂缝或连通孔洞孔隙度;  $m_b$  为基质部分的胶结指数.

## 2 孔隙度的计算

由于火山岩成分的复杂性,即使相同的岩性,其骨架参数也有可能不同<sup>[16-17]</sup>.以往的研究多数是通过统计分析的方法确定岩石的骨架参数,并在单井中使用固定的骨架参数,这显然不符合火山岩岩性复杂的特性.在本研究中,利用 ECS(元素俘获谱测井)测井数据,通过多参数组合来计算火山岩的变骨架密度和变骨架中子参数.

变骨架密度计算公式<sup>[14]</sup>:

$$\rho_{ma} = 3.1475 - 1.1003W_{si} - 0.9834W_{ca} - 2.4385W_{na} - 2.4082W_k + 1.4245W_{fe} - 11.31W_{ti} \quad (2)$$

变骨架中子计算公式<sup>[14]</sup>:

$$\varphi_{Nma} = 0.3517 - 0.728W_{si} - 0.7579W_{ca} - 1.5533W_{na} - 1.0979W_k - 0.2408W_{fe} + 9.3709W_{ti} \quad (3)$$

式中,  $\rho_{ma}$  为骨架密度;  $\varphi_{Nma}$  为骨架中子;  $W_{si}$ 、 $W_{ca}$ 、 $W_{na}$ 、 $W_k$ 、 $W_{fe}$ 、 $W_{ti}$  分别为 Si、Ca、Na、K、Fe、Ti 元素的质量分数.这些数据都可以从 ECS 测井数据中得到.得到骨架密度和骨架中子后,利用类似砂泥岩储层中子-密度交会图(图 2)方法求取火山岩储层孔隙度.

## 3 $P^{1/2}$ 概率分布法

正态分布最早是法国数学家棣莫弗(A. de Moivre)

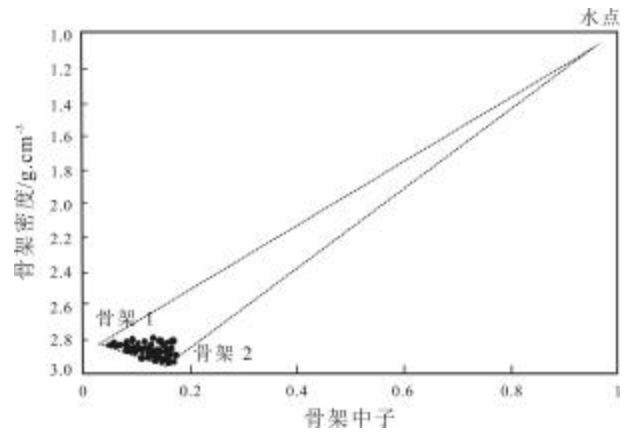


图 2 骨架中子与骨架密度交会图

Fig. 2 Crossplot of matrix neutron vs. matrix density

提出的:当二项随机变数的位置参数  $n$  很大及形状参数  $p$  为  $1/2$  时,则所推导出二项分布的近似分布函数就是正态分布.正态分布是自然科学与行为科学中定量现象的一个方便模型.各种各样的心理学测试分数和物理现象都近似地服从正态分布.如果把许多小作用加起来看做一个变量,那么这个变量服从正态分布,这在理论上是可以证明的.在概率论中,正态分布是几种连续以及离散分布的极限分布.若随机变量  $X$  服从一个位置参数为  $\mu$ 、尺度参数为  $\sigma$  的概率分布,记为:  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ,则其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

分布的数学期望值或期望值  $\mu$  等于位置参数,决定了分布的位置;其方差  $\sigma^2$  或标准差  $\sigma$  等于尺度参数,决定了分布的幅度<sup>[18-20]</sup>(见图 3).

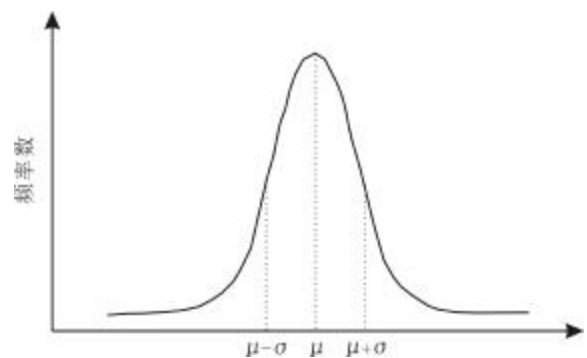


图 3 正态分布图

Fig. 3 Normal distribution curve

由阿尔奇公式  $F = R_0/R_w$  可以推出视地层水电阻率



公式： $R_{wa}=R_i \times \phi^m$ 。通过对比  $R_{wa}$  与地层水电阻率  $R_w$  可判别储层的流体性质。但是由于不能准确求取  $R_w$ 、 $\phi$  和  $m$  值，计算出的  $R_{wa}$  误差较大，很难用作储层流体性质识别指标。采用一种特殊的数学方法——正态分布法，也就是用  $R_{wa}$  的变化规律，而不是用  $R_{wa}$  的绝对值来指示储层的流体性质。对  $R_{wa}$  开平方，并命名为  $P^{1/2}$ ：

$$P^{1/2} = (R_{wa})^{1/2} = (R_i \times \phi^m)^{1/2} \quad (5)$$

式中， $\phi$  是前面求出的孔隙度； $R_i$  为电阻率； $m$  为胶结指数，由公式(1)计算得出。在某个层内各测量点计算的  $P^{1/2}$  值应符合正态分布规律。 $\sigma$  的大小反映了正态曲线的离散程度，即测量点越离散， $\sigma$  值越大。

#### 4 应用实例

将本研究方法应用到四川盆地的火山岩储层中，进行气水层判别。图 4 是 YTA1 井 5628~5675 m

层段测井曲线、计算的孔隙度和胶结指数成果图。图 5 是该层段的  $P^{1/2}$  概率分布图。从概率分布来看，正态曲线分布较缓、“胖”。据此将该层段解释为气层。该层段有试气，产量  $22.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，试气结论是气层。解释结论与试气结论一致。图 6 是 YSA1 井 6379~6430 m

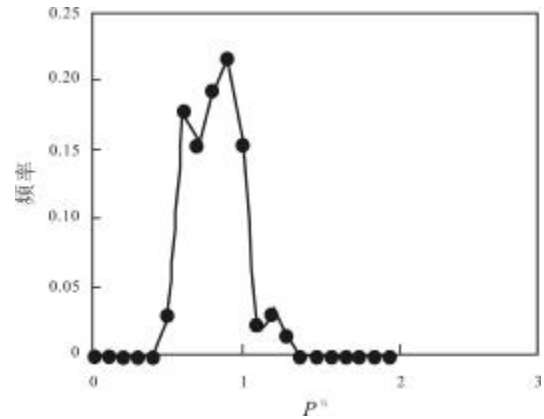


图 5 YTA1 井气层的概率分布图  
Fig. 5 Probability distribution of gas layer in well YTA1

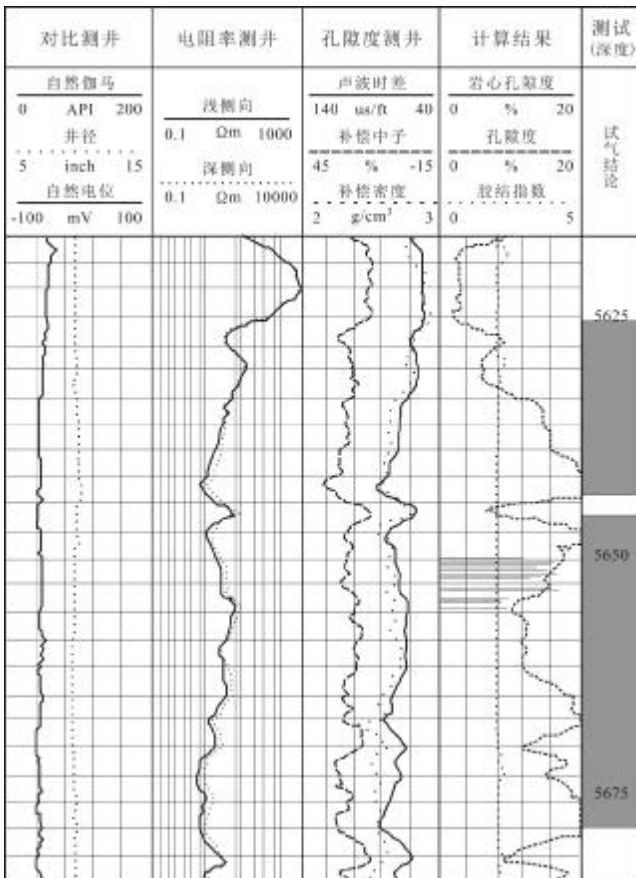


图 4 YTA1 井测井曲线和计算的孔隙度、胶结指数成果图  
Fig. 4 Logging curves with calculated results of porosity and cementation indexes of well YTA1

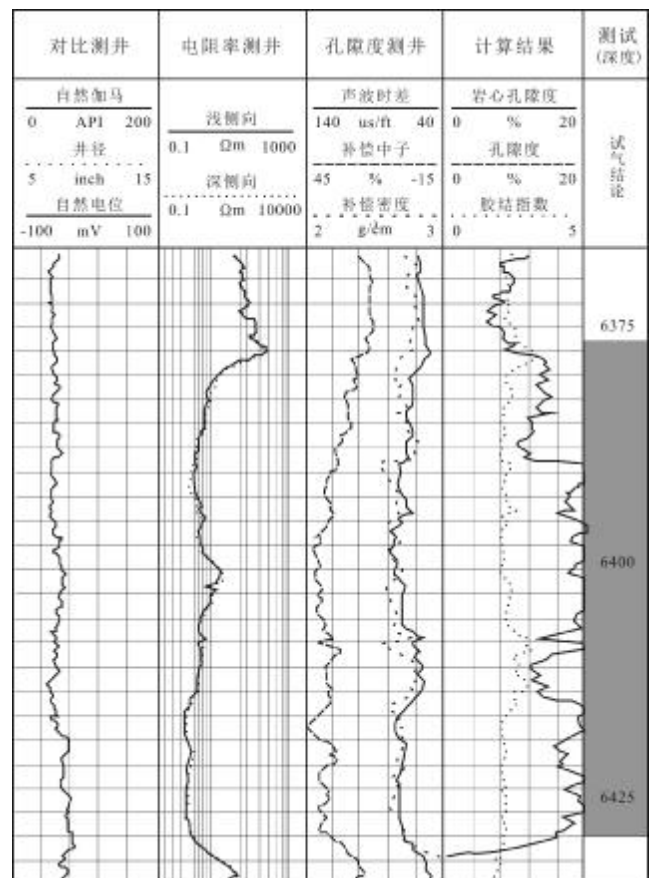


图 6 YSA1 井测井曲线和计算的孔隙度、胶结指数成果图  
Fig. 6 Logging curves with calculated results of porosity and cementation indexes of well YSA1

层段测井曲线、计算的孔隙度和胶结指数成果图. 图 7 是该层段的  $P^{1/2}$  概率分布图. 从概率分布来看, 正态曲线分布较尖、“瘦”. 据此将该层段解释为水层. 该层段试气结论是水层, 解释结论与试气结论一致. 从图 8、9 中可以看出: 水层的  $\sigma$  小, 正态曲线形状较尖、“瘦”; 油气层的  $\sigma$  大, 正态曲线形状较缓、“胖”.

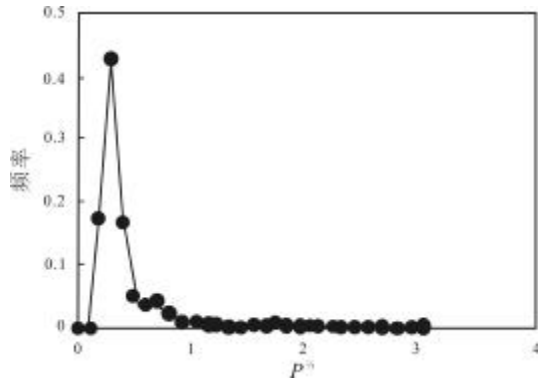


图 7 YSA1 井水层的概率分布图

Fig. 7 Probability distribution of water layer in well YSA1

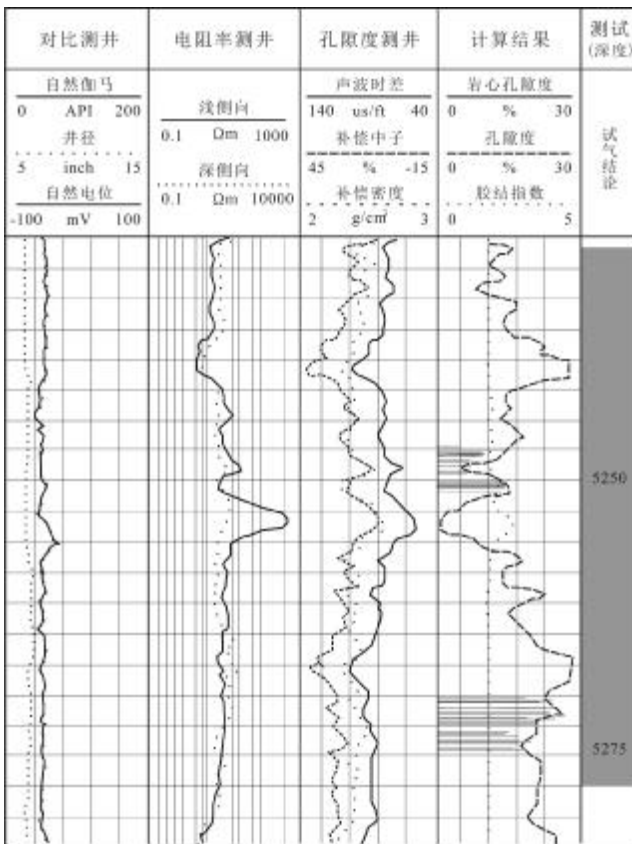


图 8 TFA2 井测井曲线和计算的孔隙度、胶结指数成果图

Fig. 8 Logging curves with calculated results of porosity and cementation indexes of well TFA2

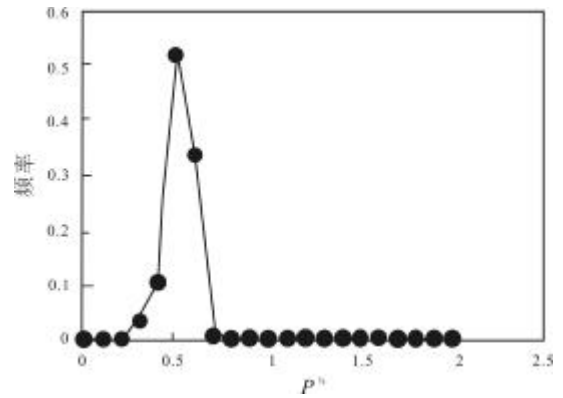


图 9 TFA2 井 5230~5250 m 的概率分布图

Fig. 9 Probability distribution of well TFA2 within the depth of 5230-5250 m

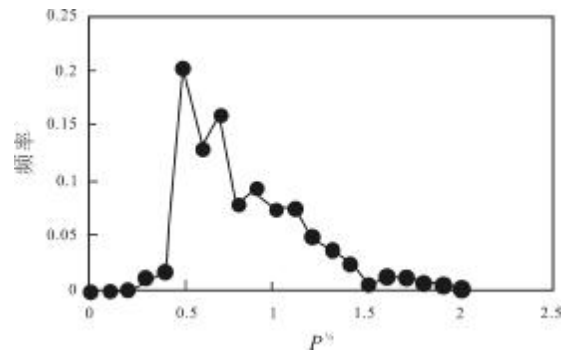


图 10 TFA2 井 5255~5275 m 的概率分布图

Fig. 10 Probability distribution of well TFA2 within the depth of 5255-5275 m

应用该方法对 TFA2 井进行了气水层判断. 图 8 是 TFA2 井 5230~5275 m 层段测井曲线、计算的孔隙度和胶结指数成果图. 图 9 和 10 分别是 2 个层段的  $P^{1/2}$  概率分布图. 该层段有试气, 产气  $4.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 产水  $469.2 \text{ m}^3/\text{d}$ , 试气结论是气水层. 从概率分布可以判断, 5230~5250 m 层段是水层, 5255~5275 m 层段是气层.

### 5 结论

本研究在应用测井资料求取连续的变骨架密度和变骨架中子后, 采用中子-密度交会图的方法计算火山岩储层孔隙度, 在此基础上, 将电阻率、孔隙度和岩电参数结合在一起, 构建概率分布曲线, 从分布曲线的形态上来识别火山岩的气水层. 将该方法实际应用在四川盆地火山岩地区, 解释的结果与试气的结论一致. 本方法不仅可以用于火山岩储层气水层的识别, 对其他岩性储层气水层的识别也具有借鉴意义.

## 参考文献(References):

- [1]柳成志, 滕立惠. 利用支持向量机识别松辽盆地火山岩岩性[J]. 地质与资源, 2014, 23(3): 288-291.  
Liu C Z, Teng L H. Recognition of the lithology of volcanic rocks in Songliao basin by support vector machine[J]. Geology and Resources, 2014, 23(3): 288-291.
- [2]王洛, 李江海, 师永民, 等. 全球火山岩油气藏研究的历程与展望[J]. 中国地质, 2015, 42(5): 1610-1620.  
Wang L, Li J H, Shi Y M, et al. Review and prospect of global volcanic reservoirs[J]. Geology in China, 2015, 42(5): 1610-1620.
- [3]张丽华, 潘保芝, 单刚义, 等. 长岭地区火山岩储层流体性质测井预测[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(6): 2151-2155.  
Zhang L H, Pan B Z, Shan G Y, et al. Fluid property logging prediction of volcanic reservoirs in the Changling area[J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(6): 2151-2155.
- [4]梁从军, 王本奇. 测井与地质录井结合准确判断油气层[J]. 天然气工业, 2003, 23(S1): 52-56.  
Liang C J, Wang B Q. Exactly deciding hydrocarbon reservoir through combining well logs with geological log data[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(S1): 52-56.
- [5]李舟波. 利用测井方法识别复杂油气储层的流体性质[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 356-362.  
Li Z B. Problem and advance on the fluid typing for complex reservoirs using well log[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 356-362.
- [6]桂金咏, 高建虎, 李胜军, 等. 面向实际储层的流体因子优选方法[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(1): 129-135.  
Gui J Y, Gao J H, Li S J, et al. Reservoir-oriented fluid factor optimization method[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2015, 50(1): 129-135.
- [7]隋泽栋, 胡张明, 覃保钢, 等. 新疆中拐地区火成岩裂缝储集层录井功指数比值解释评价及流体识别方法[J]. 录井工程, 2015, 26(1): 13-17.  
Sui Z D, Hu Z M, Qin B J, et al. Fracture interpretation and evaluation and fluid identification with mud logging work index ratio for igneous rock reservoirs in Zhongguai area, Xinjiang[J]. Mud Logging Engineering, 2015, 26(1): 13-17.
- [8]凡睿, 周林, 吴俊, 等. 川东北地区须家河组致密砂岩储层流体识别方法研究[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(3): 67-71, 105.  
Fan R, Zhou L, Wu J, et al. Research on tight sandstone reservoir fluids identification in Xujiahe Formation, northeastern Sichuan basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(3): 67-71, 105.
- [9]张艺, 李道清, 仇鹏, 等. 基于岩性分类的火山岩储层流体识别方法——以克拉美丽气田石炭系火山岩为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2020, 35(6): 22-29.  
Zhang Y, Li D Q, Qiu P, et al. Study on fluid identification method of volcanic reservoir based on lithology classification: A case study of Carboniferous volcanic rocks in Kelamei gasfield[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2020, 35(6): 22-29.
- [10]张丽华, 潘保芝, 单刚义, 等. 基于岩样声波实验数据的火山岩流体性质识别[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(6): 2284-2289.  
Zhang L H, Pan B Z, Shan G Y, et al. Identification of fluid properties of volcanic rocks based on acoustic data of rock samples[J]. Progress in Geophysics, 2020, 35(6): 2284-2289.
- [11]王春阳. 徐家围子地区酸性火山岩储层流体识别方法研究[J]. 国外测井技术, 2019, 40(5): 25-27.  
Wang C Y. Study on the fluid identification method of acidic volcanic rock reservoir in Xujia Waizi area[J]. World Well Logging Technology, 2019, 40(5): 25-27.
- [12]杨学峰. 应用逐步判别法识别酸性火山岩储层流体性质——以徐家围子地区火山岩为例[J]. 国外测井技术, 2017, 38(6): 25-29.  
Yang X F. Applying stepwise discriminant method to identify fluid properties of acidic volcanic reservoirs[J]. World Well Logging Technology, 2017, 38(6): 25-29.
- [13]文龙, 李亚, 易海永, 等. 四川盆地二叠系火山岩岩相与储层特征[J]. 天然气工业, 2019, 39(2): 17-27.  
Wen L, Li Y, Yi H Y, et al. Lithofacies and reservoir characteristics of Permian volcanic rocks in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(2): 17-27.
- [14]吴煜宇, 赖强, 谢冰, 等. 四川盆地永探1井二叠系火山岩测井岩性识别[J]. 天然气勘探与开发, 2019, 42(1): 21-27.  
Wu Y Y, Lai Q, Xie B, et al. Logging-based lithologic identifying Permian volcanic rocks of Yongtan 1 well, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2019, 42(1): 21-27.
- [15]Aguilera R F. A triple porosity model for petrophysical analysis of naturally fractured reservoirs[J]. Petrophysics, 2004, 45(2): 157-166.
- [16]付晨东. 松辽盆地安达中基性火山岩储层测井解释评价技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.  
Fu C D. Study in logging interpretation and evaluation of the intermediate and basic volcanic reservoir in Anda area of Songliao basin[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [17]朱学娟. 南堡5号深层火山岩油气藏测井识别与评价技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011.  
Zhu X J. Research on logging identification and evaluation of deep volcanic reservoirs in Nanpu 5th structure[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2011.
- [18]夏宁茂, 秦衍, 倪中新. 新编概率论与数理统计[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2006: 69-70.  
Xia N M, Qin Y, Ni Z X. Newly edited probability theory and mathematical statistics[M]. Shanghai: East China University of Technology Press, 2006: 69-70. (in Chinese)

(下转第 114 页/Continued on Page 114)

- based microseismic monitoring system for hydraulic fracturing[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2017, 52(5): 974-983.
- [28] 崔庆辉, 尹成, 刁瑞, 等. 地面微地震监测数据处理难点及对策[J]. 油气藏评价与开发, 2017, 7(1): 7-13.
- Cui Q H, Yin C, Diao R, et al. Difficulties and countermeasure of surface microseismic monitoring data processing [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2017, 7(1): 7-13.
- [29] 毛庆辉, 王鹏, 曾隽. 水力压裂微地震事件定位方法综述[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(5): 1878-1886.
- Mao Q H, Wang P, Zeng J. Review of hydro-fracturing microseismic event location methods[J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(5): 1878-1886.
- [30] 张晟瑞, 任朝发, 李星缘, 等. 地面微地震资料噪声压制方法[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(6): 2522-2527.
- Zhang S R, Ren C F, Li X Y, et al. Denoising method of surface microseismic data[J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(6): 2522-2527.
- [31] 代丽艳, 董宏丽, 李学贵. 微地震数据去噪方法综述[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2019, 49(4): 1145-1159.
- Dai L Y, Dong H L, Li X G. Review of microseismic data denoising methods [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2019, 49(4): 1145-1159.
- [32] 王程, 王维红. 基于背景噪声和特征值下降比的微地震 SVD 去噪改进方法[J]. 东北石油大学学报, 2020, 44(5): 1-12.
- Wang C, Wang W H. Optimal method of SVD for micro-seismic data based on background noise and eigenvalue ratio of reduction [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2020, 44(5): 1-12.
- [33] 王维波, 周瑶琪, 春兰. 地面微地震监测 SET 震源定位特性研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(5): 45-50, 55.
- Wang W B, Zhou Y Q, Chun L. Characteristics of source localization by seismic emission tomography for surface based on microseismic monitoring[J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36(5): 45-50, 55.
- [34] Duncan P M. Is there a future for passive seismic? [J]. First Break, 2005, 23(6): 111-115.
- [35] 宋维琪, 朱海伟, 姜宇东, 等. 地面微地震资料震源定位的贝叶斯反演方法[J]. 石油物探, 2013, 52(1): 11-16.
- Song W Q, Zhu H W, Jiang Y D, et al. Bayesian inversion method for surface monitoring microseismic data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2013, 52(1): 11-16.
- [36] 杨建国, 李士超, 姚玉来, 等. 松辽盆地北部陆相页岩油调查取得重大突破[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 300.
- Yang J G, Li S C, Yao Y L, et al. Significant breakthrough in the continental shale oil survey in northern Songliao Basin [J]. Geology and Resources, 2020, 29(3): 300.

(上接第 120 页/Continued from Page 120)

- [19] 常柏林, 李效羽, 卢静芳, 等. 概率与数理统计[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2001: 45-47.
- Chang B L, Li X Y, Lu J F, et al. Probability and mathematical statistics[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2001: 45-47. (in Chinese)
- [20] 郑书富, 王佑恩, 刘墨德, 等. 概率论与数理统计[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2018: 36-37.
- Zheng S F, Wang Y E, Liu M D, et al. Probability and mathematical statistics[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2018: 36-37.