

# 基于老井资料的碳酸盐岩储层测井解释研究

王拥军<sup>1</sup> 石家雄<sup>2</sup> 鲁东明<sup>3</sup> 钟离军<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学·北京 2. 中国石油吐哈油田研究院 3. CPR 长庆事业部)

王拥军等. 基于老井资料的碳酸盐岩储层测井解释研究. 天然气工业, 2005; 25(8): 44~46

**摘 要** 碳酸盐岩储层岩性复杂, 老油气区测井系列不全, 测井定量解释的难度很大。文章选取研究区有利构造部位测井项目齐全的井, 以取心和测试层段为研究基础, 通过深入分析典型储层岩性、物性及含油气性在电性上的响应特征, 分类建立了中子、密度与其它测井曲线的关系数据样本, 用 BP 神经网络方法建立中子和密度曲线的构建模型并预测其它老井的中子和密度曲线; 用最优化解井解释方法, 在准确识别岩性的基础上完成较高精度的测井资料数字处理; 结合试气和投产资料, 建立储层及有效厚度评价标准, 进行储层测井综合解释。用该方法对老气田 12 口井三叠系嘉二段储层进行了精细测井处理和解释, 取得了比较满意的效果。分析认为: 在碳酸盐岩储层测井解释中, 岩性识别是关键; BP 神经网络在构建测井曲线中有其独到之处, 该研究思路和方法对老井复查工作有一定的参考使用价值。

**主题词** 老油气区 井 碳酸盐岩 储集层 测井解释 神经网络

## 一、引言

老油气区测井解释最大的困难在于缺乏足够的测井信息。工区三叠系嘉二层属于裂缝—孔隙型储层, 岩性复杂, 圈闭类型以岩性构造的复合圈闭为主, 准确识别岩性是定量测井解释的基础。除 X1、X2 井外, 工区测井系列以 JD581 为主, 可用测井曲线除井径外, 只有自然伽马、声波时差和深浅双侧向电阻率 4 条; 定量测井解释的储层参数除 4 个岩性参数外, 还有孔隙度、渗透率、含水饱和度和裂缝孔隙度等, 其中独立变量至少 6 个, 因此, 仅用现有测井信息来完成储层参数定量测井解释几乎不可能。最可行的方法是利用工区 2 口测井系列较全的新井, 建立密度、中子与其它 4 条测井曲线的关系, 通过构建其它老井的密度和中子曲线来完成所有 12 口井的储层参数定量解释。

## 二、四性关系研究

储层岩性、物性和含油气性是储层描述的核心内容, 反映在电性上, 不同的测井方法常常反映储层性质的不同方面。所谓四性关系研究, 就是通过研究三性在电性上的不同响应特征, 达到利用测井响应认识储层三性的目的。在对工区取心井段、测试

层位进行系统研究的基础上得到如下认识。

(1) 岩性变化的测井响应特征: 硬石膏为低自然伽马、低中子、高密度(一般大于  $2.9 \text{ g/cm}^3$ ), 声波时差变化范围主要为  $50 \sim 54 \mu\text{s/ft}$ ; 石灰岩为较低自然伽马、低中子、低密度(一般小于  $2.8 \text{ g/cm}^3$ ), 声波时差一般大于  $47 \mu\text{s/ft}$ ; 白云岩为自然伽马略高于石灰岩和硬石膏, 中子则明显高于石灰岩, 密度介于石灰岩和硬石膏之间(一般大于  $2.7 \text{ g/cm}^3$  但小于  $2.9 \text{ g/cm}^3$ ), 声波时差一般小于  $52 \mu\text{s/ft}$ 。随泥质含量和有效孔隙的增加, 各种岩性的自然伽马、中子和声波增大, 密度减小。

(2) 含油气性的测井响应特征: 气层为较低自然伽马, 声波时差相对致密围岩明显增大且波状起伏, 中等中子, 低电阻率(相对围岩减小, 但明显高于泥岩电阻率); 水层为低自然伽马, 高声波时差, 高中子(一般大于  $5.0\%$ ), 低电阻率; 致密干层为低自然伽马, 低声波时差, 低中子, 高密度, 高电阻率, 所有曲线变化都比较平缓; 泥质干层为中高自然伽马, 中高声波时差, 高中子, 中低密度, 低电阻率。

由此可以看出: 工区岩性、物性、含油气性与电性之间有较好的一致性。因此, 可以用反映岩性的自然伽马、反映物性的声波时差、反映含油气性的双侧向电阻率曲线及反映测量环境的井径曲线共同构

**作者简介:** 王拥军, 1972 年生, 讲师, 博士研究生; 现从事应用地球物理教学和科研工作。地址: (100083) 北京市海淀区中国地质大学研究生院(或能源地质系)03 博士。电话: (010)87466927, 13552608056。E-mail: wuj7208@sina.com

建补偿中子和补偿密度测井曲线。

### 三、测井曲线构建

在工区测井系列较全的 2 口新井中, X1 井不但有系统取心资料和测试资料, 而且位于构造高部位和工区中心, 储层和岩性发育齐全, 具有典型的代表性, 因此, 选该井作为构建曲线的建模井。

人工神经网络由神经元及神经元间的连接构成, 可以分为输入层、中间层和输出层。BP 算法是一个有监督的训练多层神经网络算法, 每一训练对在网络中经过两遍传递计算, 第一遍向前传播, 从输入层经多层传递、处理, 产生一个输出, 求出该计算输出与希望输出之间的误差; 第二遍反向传播, 利用

误差对权值进行逐层修改; 直到训练次数达到足够大或者误差足够小为止<sup>[2,5]</sup>。

根据四性关系研究中对储层的认识, 在建模井中分岩性、物性、含油气性原则选取了 78 个建模样本, 在有效环境校正的基础上, 用自然伽马相对值、声波时差、深电阻率对数、深浅电阻率对数之差为输入, 用 BP 神经网络进行训练。图 1-a 为中子的 BP 神经网络建模效果图 (模型自判), 相关系数达 98.4%; 图 1-b 为 X2 井中子建模效果检验图, 相关系数为 90.1%, 模型计算结果的平均值为 2.462%; 测井平均值分别为 2.345%, 相对误差为 4.563%。密度曲线建模效果检验的相关系数为 94.4%, 相对误差 0.504%。因此认为, 建模效果比较好。

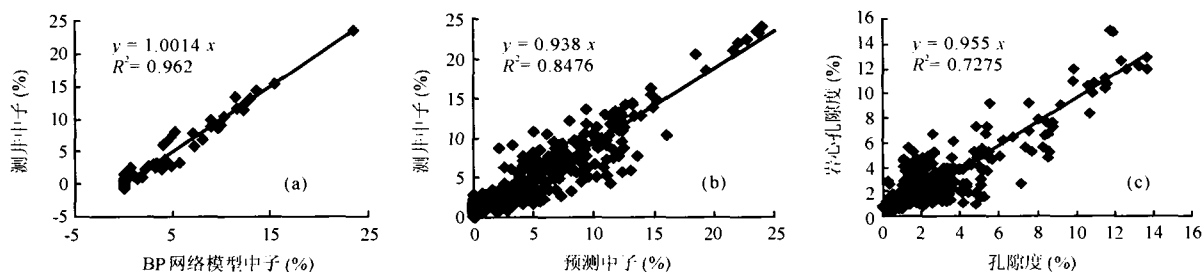


图 1 中子建模效果图 (模型自判)、效果检验和测井解释孔隙度误差分析图

### 四、储层测井综合解释

最优化测井解释是根据地球物理学广义反演理论, 以环境校正后的、较为真实地反映地层特征的实际测井值  $a_i$  为基础, 根据适当的解释模型和测井响应方程, 通过合理选择区域性解释参数与储集层参数初始值, 反算出相应的理论测井值  $f_i(x; a)$ , 并与实际测井值作比较, 按非线性加权最小二乘原理建立目标函数, 用最优化技术不断调整未知储集层参数值  $x$ , 使目标函数达到极小值。一旦两者充分逼近了, 则此时计算理论测井值所采用的未知量  $x$  就是充分反映实际储集层的参数值, 即最优化测井解释结果  $x^*$ <sup>[3]</sup>。在完成有效预处理及中子、密度曲线构建的基础上, 用最优化方法对工区的 12 口井进行了逐点数字处理, 如图 2 所示。

在逐点数字处理的基础上, 用试气试采资料建立了气、水、干层的测井解释标准。工区孔隙度以大于 2.3% 为界、渗透率以大于  $0.003 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为界划分储层, 含水饱和度以 40% 和 50% 为界划分气层、气水同层和水层。

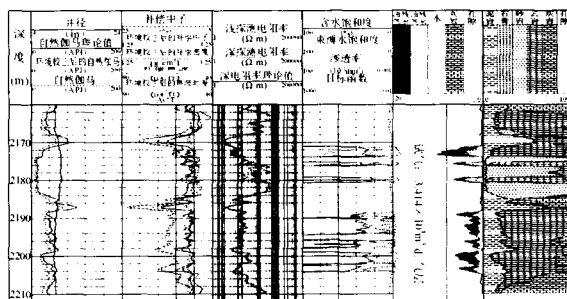


图 2 X5 井最优化测井解释成果图

### 五、效果分析

图 3 是 X4 井嘉二<sup>1</sup> 层岩性和物性对比图。从中可以看出: 测井解释主要岩性与岩化分析结果误差小于 18%, 孔隙度误差则为 6.78%, 说明岩性测井解释结果与实验室分析结果比较吻合。

工区 5 口取心井共 531 个岩样, 岩心分析孔隙度与测井解释孔隙度对比误差如图 1-c 所示, 二者相关系数达 85.3%, 两孔隙度关系线几乎过 45° 线。在物性差 (孔隙度小于 5%) 的层段, 由于非均质性严重及分辨率的差异, 测井解释误差稍大; 总体而言,

岩心孔隙度平均值为 3.07%，测井解释孔隙度平均值为 2.81%，绝对误差 0.26%，相对误差 8.47%。因此，本次测井解释的物性参数是可靠的，能够满足储量计算的要求。

表 1 是测井解释结果与显示、测试资料对比表，从中看出测井解释岩性、解释结果与录井岩性、显示及测试结果基本吻合，故本次测井解释的效果是令人满意的。

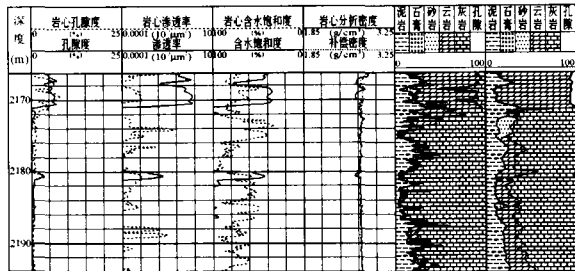


图 3 X4 井嘉二<sup>1</sup>层岩性和物性对比图

表 1 测井解释与显示及测试资料对比表

井名	层段(m)	显示及测试情况	录井岩性	测井解释结果						结论
				解释岩性	HD	$\varphi$	$\varphi_i$	K	$S_w$	
X1	2145~2155	井喷,测试产气 $5.13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	未取到样	灰质云岩	1.88	3.33	0.07	0.014	35.30	气层
X2	2254~2283	溢流,中测产水 $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,完井测试产气 $2.41 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,产水 $43 \text{ m}^3/\text{d}$	含云灰岩	灰岩,底 1 m 云岩	6.63	3.93	0.26	0.104	43.03	气水同层
X3	2080~2082	井涌,与嘉一段合试产气 $1.15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	针孔灰岩	石灰岩	1.13	3.15	0.00	0.021	35.30	含气层
X4	2135~2142	喷气,初测产气 $2.73 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,酸后测试产气 $3.97 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	石灰岩	上 1 m 云岩下灰岩	5.25	5.12	0.12	0.243	36.01	气层
X5	2194~2202	井喷,完井与长兴组合试产气 $3.414 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。主要为嘉二 <sup>1</sup> 层—嘉一段	白云岩	白云岩	3.75	4.42	0.09	0.148	30.51	气层
X6	2067~2070	井涌酸后测试产气 $1.22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	针孔灰岩	灰质云岩	2.63	5.17	0.28	1.037	35.61	含气层
X7	2179~2184	后效气浸,酸后测试产气 $5.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	针孔灰岩	石灰岩	1.00	2.66	0.22	0.009	48.47	气层

注:HD 为有效厚度,m; $\varphi$  为孔隙度,%; $\varphi_i$  为裂缝孔隙度,%;K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ; $S_w$  为含水饱和度,%。

## 六、结 论

(1)该构造嘉二段孔隙度小,渗透率低,裂缝比较发育,各向异性很强;岩性和裂缝是该构造储层发育程度的控制因素,因此,准确识别岩性是精细测井解释的基础。

(2)神经网络法在构建测井曲线方面有其独特优势,值得进一步研究和探讨。

(3)针对该区测井时间早、测井系列不全但岩性复杂的特点制订的研究方法在该区测井精细解释方面取得了令人满意的效果,由于老油气田的老井复查工作具有普遍意义,因此,该研究思路和方法有一定的参考使用价值。

(4)地层的实际情况是极其复杂的,因此,在构建曲线的过程中,除有效地利用先进的数学方法之外,应结合沉积相、储层、地层层序研究成果,特别是

结合岩心和录井的岩性描述成果进行专家控制,可以更好地消除完全依赖数学计算带来的不良影响,取得更好的效果。

## 参 考 文 献

- 肖慈珣等.神经网络技术用于测井解释的评述.测井技术,1999;23(5):389~392
- 司马立强,梁从军.测井在碳酸盐岩气藏储量计算中的应用.天然气工业,2001;21(4):42~45
- 王拥军,夏宏泉等.塔里木碳酸盐岩储层最优化解井解释.西南石油学院学报,2000;22(4):18
- Mayer C, Sibbit A. Global-A new approach to computer processed log interpretation. SPE 9341,1980
- 伍丽红等.BP神经网络在储量计算中的应用.天然气工业,2002;22(4)

(收稿日期 2005-05-17 编辑 韩晓渝)