

储层测井多井评价技术及应用

周丽娟 陈恭洋 王泽中 郭康良

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

利用测井资料与仅有的地质资料相结合, 研究其储层的岩性、物性、电性、含油气性及其相互间的关系, 从而建立起测井信息与地质信息的对应关系。根据这些关系, 由局部扩展到整个区块, 进行逐井逐层段分析运算, 从而获得比较准确的区块目的层储集参量值。储集层参量主要包括泥质含量、岩石骨架内各类岩性的相对含量、粒度中值以及储层的孔隙度、渗透率、含油饱和度和有效厚度等。这些参量在纵向上和平面上的分布规律直接反映了储层的非均质特性、孔隙性和渗透性的变化特征, 以及油气水的分布特征。

关键词 储层测井 多井评价 优化 孔隙度 渗透率 饱和度 有效厚度 泥质含量

第一作者简介 周丽娟 女 30岁 工程师 矿场地球物理

储层测井多井评价是以储层为主要研究对象, 以岩芯资料和测试资料为主要依据, 充分利用现代测井技术, 对储层的岩性、物性、含油气性等油藏内部的地质特征, 作精细研究的一项综合性的实用技术^{*}。下面将结合辽河油田陆东凹陷交南断鼻的实际资料, 具体讨论这项技术的应用。

1 测井资料标准化

测井资料标准化工作的内容可分为两步: 单井多曲线标准化和多井同一名称曲线标准化。单井多曲线标准化包括基线漂移、局部井段曲线抖动和高尖峰、井眼环境校正、仪器误差校正、深度校正等。多井同一名称曲线标准化包括选取标准层井段, 选取关键井。多井同名称曲线以关键井曲线为准统一校正。

表1 标准化曲线校正表

曲线名	校正范围
声波时差	$-1.64 \sim 29.53 \mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$
密度	$-0.058 \sim 0.056 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
中子	$-0.64\% \sim 5.86\%$
双侧向	$-1.43 \sim 1.98 \Omega\text{m}$
微侧向	$-1.09 \sim 3.23 \Omega\text{m}$
感应	$-21.5 \sim 63.4 \Omega\text{m}^{-1}$
自然电位	基线校正到 0.0 mV

交南断鼻多井标准化采用直方图概率分布平移法。标准层选在目的层九佛堂组上段的油页岩。由于关键井必须具备钻井质量、工艺水准、井眼状况和测井质量等各项技术都达优的条件, 因此, 一般选取的关键井多为参数井或检验井。该区块比较特殊, 选不出一口合适的井作关键井。因此, 只能采用平均值法, 求取各种曲线的标准值, 以达到多井校正的目的。

多井标准化内容的实现由程序 STAND 完成。经分析, 除了个别曲线(如井径、自然伽马等)不能作多井校正外, 其它曲线的多井标准化都很成功(表1)。其中感应曲线校正值变化

* 钟兴水, 张超模等. 测井资料综合解释及数字处理. 江汉石油学院. 1992

收稿日期: 1995-06-19 改回日期: 1995-07-05

幅度较大, 不适宜作深电阻率, 参加储层参量的运算。

2 “四性”关系

2.1 岩性、物性特征

根据交南断鼻6口井48块岩芯分析化验资料, 目的层为岩屑长石砂岩, 孔隙度平均为20%, 碎屑颗粒总量平均为58.8%, 填隙物平均为21.20%, 其中泥质占总量的6.0%左右, 碳酸盐含量平均占15.2%左右。目的层矿物成分有粘土、石英、长石、方解石和白云石。因此, 本区块岩石体积物理模型定成表2形式。

表2 交南断鼻目的层体积物理模型

总孔隙	有效孔隙	烃	不动油气
			可动油气
	自由水		
固体颗粒	束缚水（不动水）		泥质
	干粘土		
	石英+长石		
	白云石		
	方解石		

根据九佛堂组12个砂岩样品薄片、X-衍射和化学分析以及收集的物性分析资料, 本区目的层砂岩的泥质、碳酸盐含量和孔隙度呈镜像关系, 说明泥质和碳酸盐含量皆对孔隙度有较大的影响, 两者与孔隙度呈一定的负相关, 但相关性较差。与一般的粉、细砂岩储层的情况相反, 本区的粒度中值与孔隙度呈负相关性。分选系数与孔隙度的相关性较差, 但总体呈正相关性。

2.2 电性特征

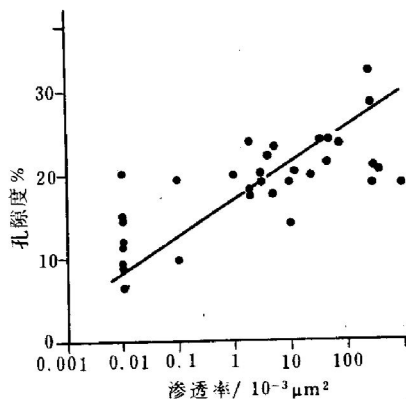


图1 孔隙度与渗透率的交会图

以岩芯分析资料为基础, 通过岩芯归位与测井资料相结合, 用以确定测井解释必需的数学参量。考虑到取样的随机性, 选取了交2、交9、交13三口井的五次连续取芯井段的分析资料, 共48个样品。综合各项测井资料, 归属到16个单砂层。按样品点平均后编制孔隙度与声波时差、密度、补偿中子测井曲线的关系图, 其中声波和中子测井与孔隙度关系较好。因此, 本区孔隙度计算主要依据声波和中子测井资料。本区属典型砂岩储层。孔隙度与渗透率具有较好的正相关性(图1)。通过5口井30个层的试油资料分析, 当声波时差大于255 $\mu\text{s}/\text{m}$, 双侧向差值大于2 Ωm , 深侧向电阻率大于12 Ωm 时, 试油为油层, 否则为干层(图2)。由于交南断鼻内试油的井未见水层, 储层非油即干。255 $\mu\text{s}/\text{m}$ 的声波时差折算成孔隙度为13%(图3)。因此, 油层的下限取孔隙度13%, 渗透率小于 $10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图1)。

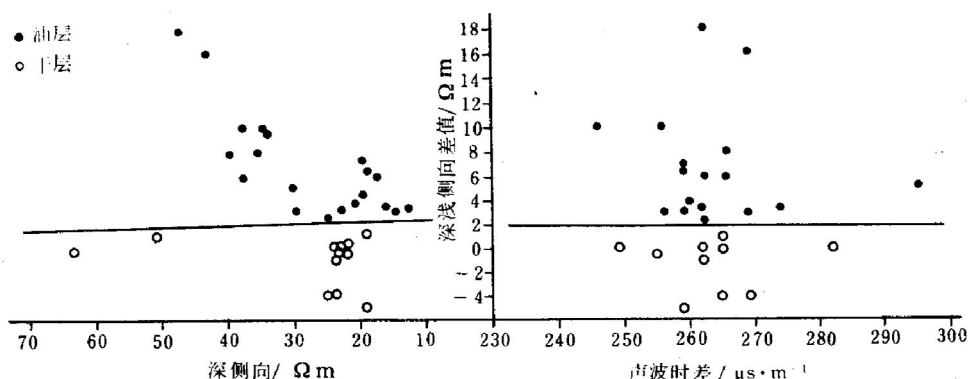


图2 声波时差-双侧向差值-深侧向值交会图

3 建立测井解释模型

测井解释模型就是对主要的储层参量建立测井初值运算数字公式。

3.1 泥质含量

交南断鼻泥质含量计算经多方面试验,用 GR 、 SP 分别求一个视泥质含量,然后,取两者的极小值作为泥质含量值。用 GR 、 SP 求视泥质含量的公式如下:

$$\text{用 } GR \text{ 求 } V_{SH}: GCVR = \frac{GR - SHGR}{SHGR - SAGR}, V_{SH} = \frac{2^{GCVR \times MU} - 1}{2^{MU} - 1}$$

$$\text{用 } SP \text{ 求 } V_{SH}: GCVR = \frac{SP - SASP}{SHSP - SASP}, V_{SH} = \frac{2^{GCVR \times MU} - 1}{2^{MU} - 1}$$

上述式中: GR 、 SP 分别是自然伽马、自然电位的测井值; $SHGR$ 、 $SHSP$ 分别为自然伽马、自然电位曲线的纯泥岩基线值; MU 为泥质含量计算时的经验参数,目的层是老地层时 $MU = 2$, 是新地层时 $MU = 3.7$; $SAGR$ 、 $SASP$ 分别为自然伽马、自然电位的纯砂岩基线值。

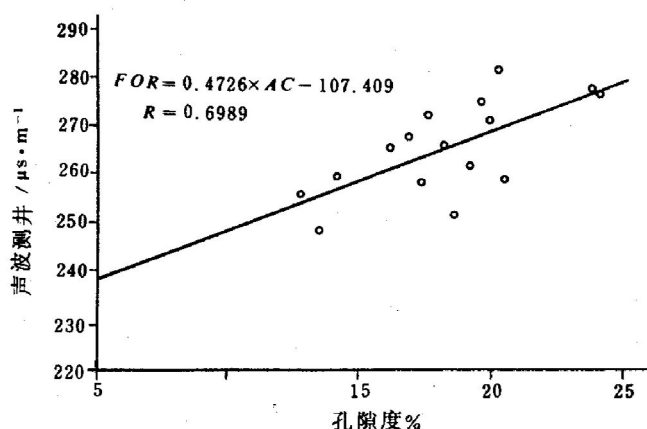


图3 声波时差与孔隙度交会图

3.2 孔隙度

用中子 CNL 曲线求地层孔隙度 Φ_T :

$$\Phi_T = \frac{CNL - CNL_{ma}}{CNLF - CNL_{ma}}$$

用声波 AC 时差曲线求地层孔隙度 Φ_T :

$$\Phi_T = \frac{AC - AC_{ma}}{ACF - AC_{ma}} \times \frac{1}{CP}$$

上述式中: CNL 、 AC 分别为中子、声波实际测井值; CNL_{ma} 、 AC_{ma} 分别为中子、声波骨架值; $CNLF$ 、 ACF 分别为地层水中子、声波值; CP 为压实系数。

3.3 渗透率

目前最好的办法是岩芯测量资料与相对应测井曲线值之间,建立起拟合度较高的关系式,用此关系求取储层渗透率。通过大量的拟合工作,发现渗透率与某一种测井曲线的相关性都不太好,只能靠多条曲线与渗透率进行多元多次拟合^[1]。多元多次拟合的通用公式如下:

$$P_{crn} = C + \sum_{j=1}^n \sum_{i=-[\frac{m}{2}]}^{[\frac{m}{2}]} C_i A_j^i$$

式中 P_{crn} 为渗透率; C 为常数项; A_j 为第 j 条曲线的测井值; C_i 为相应曲线常数项; m 为拟合幂; n 为曲线条数。

交南断鼻用交2井和交9井的 GR 、 SP 、 AC 、 RT 四条曲线与30块样品的渗透率进行多元多次拟合,建立起关系式求取整个区块的渗透率。其关系式如下:

$$P_{crn} = C + \sum_{i=-1}^1 C_{GR}^i GR^i + \sum_{i=-1}^1 C_{SP}^i SP^i + \sum_{i=-1}^1 C_{AC}^i AC^i + \sum_{i=-1}^1 C_{RT}^i RT^i$$

该公式拟合的复相关系数达0.99,具有极高的准确度。

3.4 含水饱和度

根据交南断鼻选择的体积物理模型, 求含水饱和度和冲洗带饱和度初值公式选择如下经验公式^[2]:

$$S_w = \left\{ \frac{R_w}{\Phi_T^2 R_T} + \left[\frac{S_{wb} (R_{wb} - R_w)}{2R_{wb}} \right]^2 \right\}^{1/2} + \frac{S_{wb} (R_{wb} - R_w)}{2R_{wb}}$$

$$S_{xo} = \left\{ \frac{R_{mf}}{\Phi_T^2 R_{xo}} + \left[\frac{S_{wb} (R_{wb} - R_{mf})}{2R_{wb}} \right]^2 \right\}^{1/2} + \frac{S_{wb} (R_{wb} - R_{mf})}{2R_{wb}}$$

其中束缚水饱和度 S_{wb} 的求法:

$$\text{当 } GCVR > 0.5 \text{ 时, } S_{wb} = (2GCVR - 1) / \left[2 - \frac{3(1 - 2GCVR)}{5\Phi_T^2} \right]$$

$$\text{当 } GCVR < 0.5 \text{ 时, } S_{wb} = 2GCVR / \left[2 - \frac{3(1 - 2GCVR)}{5\Phi_T^2} \right]$$

式中: S_w 为地层含水饱和度; S_{xo} 为地层冲洗带含水饱和度; R_w 为地层水电阻率; R_{wb} 为地层束缚水电阻率; R_T 为地层真电阻率; Φ_T 为地层总孔隙度; R_{xo} 为地层冲洗带电阻率; R_{mf} 为泥浆滤液电阻率; S_{wb} 为地层束缚水饱和度; $GCVR$ 为泥质指数, 在前面有其相应的计算公式, 这里不再重复。

3.5 油层有效厚度的确定

从录井、岩芯和试油资料研究表明: 储层颗粒在细砂以上, 含油级别在油浸以上砂岩, 才具有一定的产油能力。根据这两点特征分析, 电性上油层的界限为声波时差大于 $255 \mu\text{s/m}$, 双侧向差值大于 $2 \Omega\text{m}$, 深测向电阻率大于 $12 \Omega\text{m}$, 孔隙度 13% , 渗透率小于 $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4 测井最优化处理

交南断鼻地质情况复杂, 用以往的理论公式求储集层参数与实际偏差较大, 给生产和研究带来一系列困难。用最优化解释的原理能较好地解决这个问题。

最优化解释的基本原理, 就是利用所选择的测井曲线 (a_i)、地层储集参数 ($\vec{X}$), 根据所选择的解释模型, 写出测值 a_i 的响应方程 $f_i(\vec{X})$, 结合测井误差 σ_i 和响应误差 τ_i 以及各种约束 (地质的和数学的约束等等) $G_j(\vec{X})$ 及其误差 T_j , 建立起一个反映实际测井值 a_i 和理论测井值 $f_i(\vec{X})$ 差值大小的误差函数, 即 $F(\vec{X})$ 。把误差函数作为目标函数, 然后利用最优化算法求取目标函数的最优解 $\vec{X}$, $\vec{X}$ 就被认为是符合地层情况的最大几率解。

最优化算法的数学方法是应用非线性加权最小二乘法原理来构造的。它以测井响应方程计算的理论测井值与实际测井值之误差达到最小来优化解释结果的。其响应方程概括为:

$$F(\vec{X}) = \sum_{i=1}^M \frac{(a_i - f_i(\vec{x}))^2}{\sigma_i^2 + \tau_i^2} + \sum_{j=1}^N \frac{G_j^2(\vec{x})}{T_j^2}$$

式中: $F(\vec{X})$ 为最优化测井解释的目标函数; $f_i(\vec{X})$ 为第 i 种测井值; T_j 为第 j 种约束的约束误差; $\vec{a}_i$ 为环境校正后的实际测井值向量 ($SP, GR, \Delta t, Pb, \Phi_N, R_t, R_{xo}, \dots$)^T; ($\vec{X}$) 为未知的储层参数及矿物相对含量的向量 ($\Phi, W_w, S_{xo}, C_d, V_{ma1}, \dots, V_{ma6}$)^T; τ_i 第 i 种测井响应方程的误差, 即响应方程计算值与实际地层参数值之差; $G_j(\vec{X})$ 为第 j 种约束的不符合约束程度值; σ_i 为第 i 种测井值误差即环境误差。

根据上述公式和物理、数学模型, 适当选取经验参数, 就可以用优化程序完成处理工作 (图 4)。

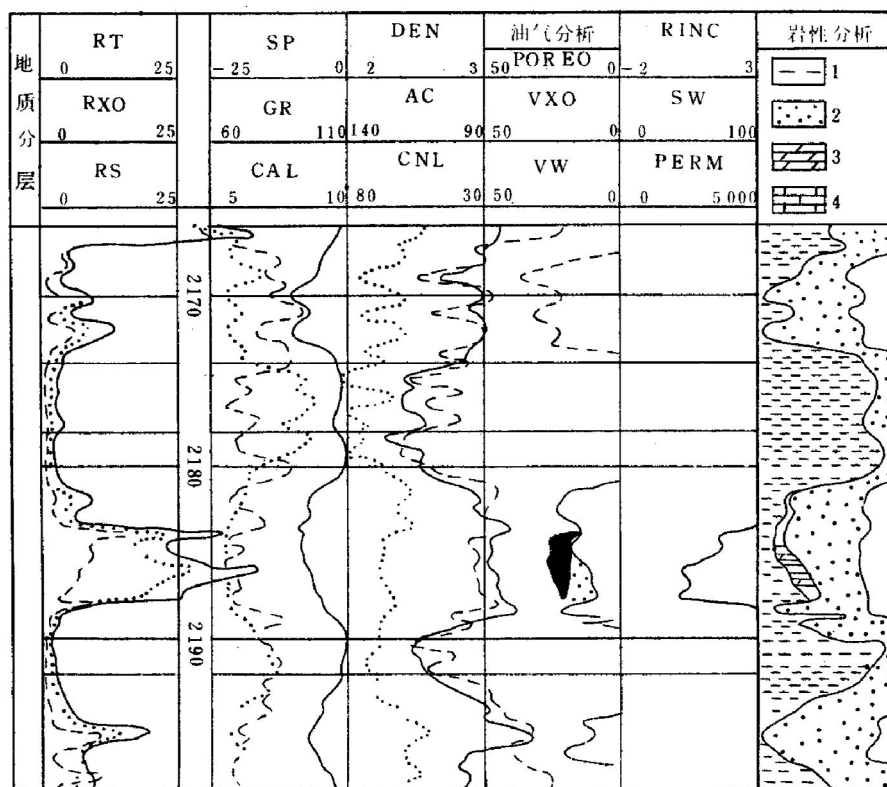


图4 最优化处理成果图

1—泥岩, 2—砂岩, 3—白云岩, 4—石灰岩

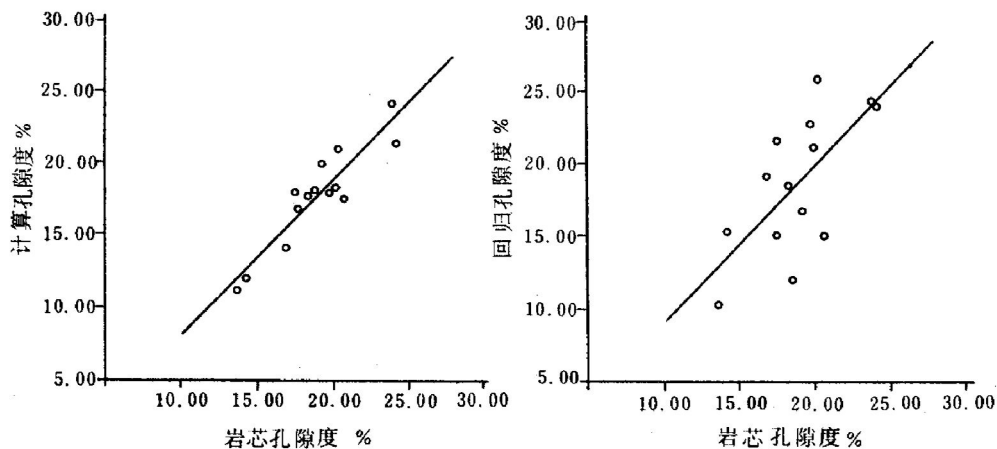


图5 岩心分析与测井资料计算孔隙度关系图

5 储层参数集总与处理结果检验

5.1 储层参数集总

对于各井每个储集层参数简化描述, 将逐点计算的处理参数进行一次集总。这个过程的最最终目的就是形成一个储层参数表。

5.2 处理结果检验

最优化解释结果准确与否, 最后还要用取芯分析数据对比, 求取误差, 通过误差分析才能得到检验。

5.2.1 孔隙度检验

优化解释计算孔隙度和四性关系研究获得的回归孔隙度都与岩芯孔隙度比较(图5), 不难看出, 回归孔隙度的误差要比优化处理计算的孔隙度误差大些。由于岩芯分析时, 没有考虑到上覆地层压力等因素, 岩芯测量值普遍偏大, 致使最优化处理计算的孔隙度普遍比岩芯分析孔隙度小约0.24%~5.56%。个别样品的孔隙度偏大0.10%~3.16%, 可能与岩石中泥质含量偏高有关。

5.2.2 渗透率检验

因为计算用的就是多元多次拟合出来的公式, 这个公式拟合的准确性较高, 因此, 计算出的渗透率误差也较小(图6)。

5.2.3 饱和度的检验

由于新探区, 试油后压汞资料未及时出来, 该区块的饱和度检验较难实现, 但从理论上分析, 含水饱和度受孔隙度和深电阻率的约束。孔隙度检验的准确和优化运算的原理, 可以保证饱和度的准确性。

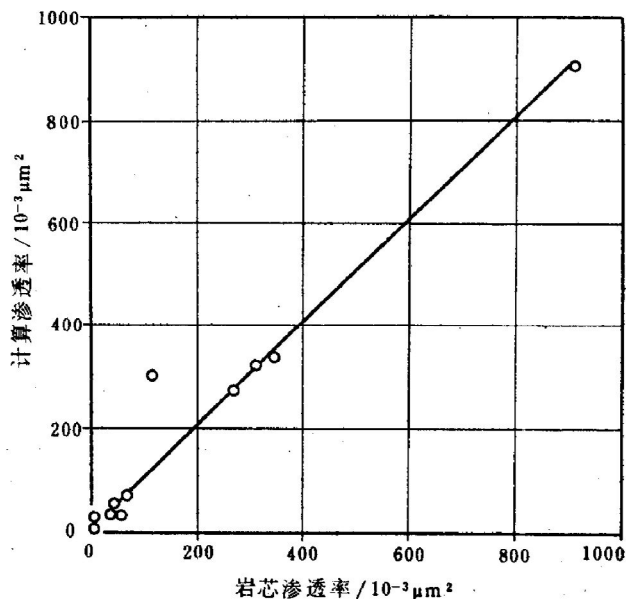


图6 渗透率误差分析图

参 考 文 献

- 1 德莱赛-阿特拉斯公司. 测井与解释技术. 北京: 石油工业出版社, 1991. 364
- 2 吴继庚. 实用数值计算方法与程序. 北京: 冶金工业出版社, 1991. 82
- 3 信基麟, 路九华. 勘探阶段油藏研究及评价. 北京: 石油工业出版社, 1993. 62

MULTI-WELL EVALUATION TECHNIQUE OF RESERVOIR LOG AND ITS APPLICATION

Zhou Lijuan Chen Gongyang Wang Zezhong Guo Kangliang

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

Abstract

By making use of log data and geological information, analyzing lithologic characteristics, the physical and electric behavior, the oil-gas bearing potential of reservoir rocks as well as their relations with each other, it is possible to establish the corresponding relations between log data and geological information. According to these relations, every well and every formation was analyzed and calculated so as to obtain precise reservoir parameters of the target formation in a block. The most important parameters include: shaliness, mineral ingredients in the rock framework, the mean value of grain size, porosity, permeability, oil-saturation and the available thickness of the reservoir. The vertical and planar distribution of the parameters reveals directly the variation property of reservoir's heterogeneity, porosity and permeability as well as oil and gas distribution.