

BP 神经网络识别塔北低阻油气层

贺 铎 华

(中国石油化工集团新星公司 西北石油局工程技术中心 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要 : 简要介绍了塔北低阻油气层岩性剖面、低阻油气层地球物理测井曲线特征 , 分析了塔北地区低阻油气储层成因 , 重点论述 BP 神经网络识别油气层、油水同层、水层和干层的方法原理。识别实例表明 , BP 神经网络识别低阻油 (气) 水层的结果与实际相符 , 明显地提高了测井的解释精度。

关键词 塔北地区 低阻油气层 BP 神经网络 测井解释

中图分类号 : TE132 文献标识码 : A 文章编号 : 1000 - 8918 (2002) 02 - 0122 - 04

低阻油气层是塔北地区的一种重要油气储层 , 主要分布在中、新生界。储集层厚度大、孔渗性好。油气储层电阻率明显呈低阻特征 , 有的甚至与纯水层电阻率相差无几。特别是本区具有高—极高的地层水矿化度、高束缚水含量 , 微孔隙发育 , 且随着泥质含量与含油气的增加等因素的影响 , 电阻率值增高 , 增加了对油 (气) 水层的判断难度 , 给测井资料解释带来很大的困难。因此 , 低电阻率油气储层的测井资料评价方法 , 不仅是本区的难题 , 也是当前国内外的难题之一。为此 , 作者尝试利用 BP (back-propagation) 神经网络技术 , 期望较准确地识别油气层、油水同层、水层和干层。

1 低阻油气储层岩性剖面^[1]

1.1 三叠系 (T)

上三叠统哈拉哈塘组 (T_3h) 一般厚 100 ~ 150 m , 雅克拉地区较薄为 30 ~ 40 m。底部砂岩层为阿克库勒地区上油组 (已获工业油气流)。

中三叠统阿克库勒组 (T_2a) 分布广 , 由 2 个沉积旋回组成。上旋回下部为含砾砂岩、中砂岩 (即中油组 , 是西达里亚地区主要的油气层) ; 下旋回下部为细砂岩、中砂岩、含砾砂岩夹泥岩 (即下油组 , 已获工业油气流)。沉积厚度一般为 200 ~ 300 m。

下三叠统柯吐尔组 (T_1k) 的岩性为泥岩、粉砂质泥岩夹粉砂岩 , 底部为含砾砂岩。一般厚 50 ~ 150 m。

1.2 储集层概况

XD 构造三叠系储层多为中粒砂岩 粒间填隙物

由杂基和胶结物构成。据薄片资料分析 , 储集岩在中期溶蚀作用下 , 原生粒间孔转化为粒间溶蚀孔为主的储集空间 , 导致储集岩具有较大的孔、渗性。

ST 构造三叠系储层岩性主要为粗 ~ 细粒长石岩屑砂岩 , 其次为含砾砂岩及砂砾岩。储集岩的孔隙较发育 , 分布较均匀 , 以原生、粒间孔为主 , 局部溶蚀扩大。

AN 构造三叠系储层岩性主要为细—中砂岩。

2 地球物理测井曲线特征

中、新生界为一套陆相砂泥岩沉积 , 横向厚度变化不大。三叠系为 XD 构造、ST 构造的主力油气藏 , 油气集中分布在上三叠统哈拉哈塘组和中三叠统阿克库勒组 , 是由较完整的沉积旋回形成的 3 个岩性段。

哈拉哈塘组砂体即为三叠系第一岩性段 , 该岩性段有一明显泥岩标志层 (高自然伽马 , 低电阻率) , 标志层以下的砂岩层段即为上油组。砂岩层 : 自然电位为 - 50 ~ - 70 mV , 自然伽马为 60 ~ 90 API , 3 条电阻率曲线呈高侵特征 , 电阻率为 0.8 ~ 3 $\Omega \cdot m$, 密度为 2.35 ~ 2.45 g/cm^3 , 中子孔隙度为 21% ~ 30% , 井径规则。泥岩层 : 自然电位呈基线 , 自然伽马 90 ~ 135 API , 3 条电阻率曲线重合 , 电阻率 2 $\Omega \cdot m$, 声波时差值 75 ~ 90 $\mu s/ft$, 密度 2.3 ~ 2.5 g/cm^3 , 中子孔隙度 29% ~ 42%。

阿克库勒组分为三叠系第二、第三岩性段。第二岩性段为泥质岩 粉、细砂岩 , 砂岩和砂砾岩 (即中油组)。砂岩层 : 自然电位为 - 40 mV ~ - 85 mV ,

自然伽玛为60~75 API,声波时差值为80~85 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 。3条电阻率曲线呈高侵特征,其中在好的油层段,电阻率值高且3条电阻率曲线重合呈无侵特征,井径规则,中子孔隙度为20%~30%,密度为2.25~2.35 g/cm^3 。泥岩层:自然电位呈泥岩基线,自然伽玛为90~120 API。3条电阻率重合,电阻率为1.8~2.3 $\Omega\cdot\text{m}$,声波时差值为75~95 $\mu\text{s}/\text{ft}$,密度为2.25~2.5 g/cm^3 ,中子孔隙度为27%~39%。

第三岩性段的砂岩物性较好,自然电位负异常为-55~-80 mV,自然伽玛为70~80 API。3条电阻率曲线呈高侵特征,声波时差值80~85 $\mu\text{s}/\text{ft}$,密度2.25~2.30 g/cm^3 ,中子孔隙度约为27%,井径规则。泥岩特征与第二岩性段相近,自然电位呈基线,自然伽玛为90~105 API,3条电阻率曲线重合,电阻率约2 $\Omega\cdot\text{m}$,声波时差值80~90 $\mu\text{s}/\text{ft}$,密度2.25~2.5 g/cm^3 ,中子孔隙度27%~39%,井径扩径。

3 塔北地区低阻油气储层成因^[2,3]

经过10多a在塔里木盆地的石油勘探,塔北地区中、新生界砂岩发现有低阻油气储层,对取得的测井资料及化验分析资料研究,认为该区形成低电阻率油气储层的原因主要有:极高的地层水矿化度、高束缚水含量、泥质的附加导电性、特殊导电性矿物富集等,且多种因素相辅相成,有时交互作用于同一储集层中,导致油气层电阻率值明显降低,使得储层中的含液性难以判断。下面对塔北地区造成低阻储层的原因进行剖析。

3.1 地层水矿化度

一般情况下,如果地层的含水量相同,地层水矿化度越高,则电解质的浓度越大,电阻率就越低,反之,电阻率越高。位于阿克库勒断块的K14井、K23井、K40井和K22井的 T_3h 和 T_2a 的地层水矿化度更高,在 $20 \times 10^4 \text{ mg}/\text{L}$ 以上,换算成地层水电阻率都在0.015~0.018 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

由测井资料可证实,地层水矿化度过高会引起地层电阻率降低。但单纯的地层水矿化度在引起油层电阻率降低的同时,也会引起水层电阻率降低,所以二者的区别还是比较明显的,一般增大率仍大于4。

3.2 高束缚水含量

造成油气储层电阻率低的原因,除受高地层水矿化度的影响外,还与其它因素有关。由成因理论可知,束缚水饱和度的增高,在造成电阻率降低的同

时,电阻增大率也随之减小。

通过化验分析等资料得知该区低阻油气储层确实具有较高的束缚水含量。

从毛细管压力曲线来看,以K35井为例,计算出的束缚水饱和度多在20%~40%之间。由薄片资料分析,不论储层粒度大小均有较高的束缚水饱和度,由测井资料计算出的束缚水饱和度均较高。如A15井为40%~50%,K22井为45%~55%。此外,本区油气储层孔隙分布的最主要特点是具有“双峰位”分布,即在孔隙分布图上具有2个明显的峰值,表明产层存在2组主要的孔隙系统:一是孔隙粒径小于0.1 μm 、流体不能在其中渗流的微孔隙系统,它们在产层总孔隙系统中占有明显的优势,因而组成以束缚水为主要成分的导电网络,导致油气层含油饱和度变小,电阻率降低;二是主要的渗流孔隙系统,孔隙中的流体可在其中自由流动,因此渗流孔隙系统峰值相对应的孔喉半径数值大小,通常可作为低电阻率油气储层产能大小的重要标志。

另外,塔北地区储层的闭合度较小,油柱高度低,使油气的驱替压力低,油气只能饱和于较大孔喉控制的孔隙空间,造成含油饱和度偏低,这也是塔北地区形成低阻油气储层的原因之一。

由此可见,极高地层水矿化度和高束缚水含量是造成塔北地区油气储层电阻率降低的主要因素。

4 BP神经网络识别储层的方法原理^[4]

低阻油气储层是塔北地区油气勘探和开发的重点层位,而储层的基本参数泥质含量、孔隙度、饱和度,都是依靠测井结果提供,求准这些参数是正确评价储层的重要前提。经过多年研究,采用BP神经网络方法计算储层参数,精度得到了明显提高。

BP神经网络算法所采用的学习过程由正向传播处理和反向传播处理组成。在正向传播过程中,输入模式从输入层经隐层逐层处理并传向输出层,如果输出层不是期望的输出则信号从输出层向输入层传播,即反向传播,在反向传播过程中调整各层间连接权及各层神经元的偏置值,误差逐渐减小。因此该算法的实质是求误差函数的最小值,它通过多个样本的反复训练,权值沿误差函数的最速下降(负梯度)方向来改变,最终收敛最小点。

识别低阻油气层多层BP网络模型如图1所示,该网络体系结构由3层组成。第一层为输入层,由与低阻油气层有关的电阻率 R_t 、含水饱和度 S_w

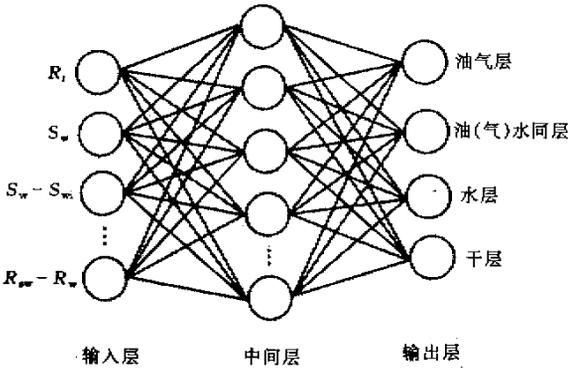


图 1 BP 神经网络识别油、水层模型

等神经元组成(有时也称结点)。第二层为隐层,其神经元与外界没有直接关系,但其状态的改变能影响输入与输出之间的关系。第三层为输出层,该层由油(气)层、油水同层、水层、干层 4 个神经元组成。

为了产生给定输入的可靠输出,必须对已知样本进行反复训练,对连接权及神经元的偏置值进行修改再修改,直到产生期望输出为止,最后将多个已知样本训练的各层连接权及各层神经元的偏置值等信息作为知识保存,以便对未训练样本进行预测。其算法实现过程步骤如下。

(1)神经网络初始化

用较小的随机数赋给 W_{ji}, V_{kj}, A_j, B_k 初值。 W_{ji} 为输入层第 i 个神经元到隐层第 j 个神经元的连接权; V_{kj} 为隐层第 j 个神经元到输出层第 K 个神经元的连接权; A_j 为隐层第 j 个神经元的偏置值; B_k 为输出层第 k 个神经元的偏置值。

(2)输入第一个学习模式

输入第一个学习模式并作为输入层单元的输 出值 X_i , i 为输入层神经元的序号,如 X_1, X_2, \dots 分别为电阻率、声波等曲线或地质参数。

(3)求隐层神经元的输入和输出

$$X_j = \sum_i W_{ji} X_i + A_j, Y_j = (1 + e^{-X_j})^{-1},$$

Y_j 为隐层第 j 个神经元的输出。

(4)求输出层神经元的输入和输出

$$X_k = \sum_j V_{kj} Y_j + B_k, Y_k = (1 + e^{-X_k})^{-1},$$

(5)计算误差

$$d_k = (Y_k - T_k) Y_k (1 - Y_k),$$

万方数据
$$\sum_k d_k V_{kj} Y_j (1 - Y_j),$$

d_k 为输出层第 k 个神经元的一般化误差; σ_j 为隐层第 j 个神经元相对于每个 d_k 的误差; T_k 为输出层第 k 个神经元的教师信号(期望输出值)。

(6)修改 W_{ji}, V_{kj}, A_j, B_k

$$V_{kj} = V_{kj} + \alpha d_k Y_j, B_k = B_k + \beta d_k,$$

$$W_{ji} = W_{ji} + \alpha \sigma_j X_i, A_j = A_j + \beta \sigma_j,$$

α 和 β 为常数,分别称为学习率和冲量系数,要求 $0 < \beta < 1, 0 < \alpha < 1$ 。

(7)如果有下一个学习模式,则输入,并转步骤(3);否则转步骤(8)。

(8)计算误差函数值

$$E_l = 0.5 \sum_k (Y_k - T_k)^2, E_l = \sum_l E_l,$$

式中, E_l 为第 l 个模式的误差函数值, $l = 1, 2, 3, \dots, n$, n 为模式的个数; E_l 为整个模式的总误差函数值。

如果 $E_l < \epsilon$ (ϵ 为预先给定的总误差判别标准值)则转步骤(9);否则转步骤(3)~(6)。(8)。

(9)将 W_{ji}, V_{kj}, A_j, B_k 作为知识保存下来,以便识别低阻油(气)水层。

5 应用实例

作者从塔北多个构造的 17 口井中取 187 个样品作为训练集,其中油(气)层 96 个,油水同层 26 个,水层 54 个,干层 11 个。取样的根据是:①试油资料;②正在产油气层;③地质资料;④输入层 8 个神经元,中间层 16 个神经元,输出层 4 个神经元, $E_l = 0.001$, 迭代 20 886 次,训练时间大约 5 h。对 A1, A2, A3, A4, A5, A6 等井实际资料的解释表明, BP 人工神经网络识别结果与试油和产层的结果一致,没有漏掉油气层。

表 1 为塔北 A 井 BP 人工神经网络识别油气水层实例,表中 h_1, h_2 分别为层起止深度; R_l 为深感应电阻率; S_w 为含水饱和度, S_{wi} 为束缚含水饱和度 (S_w, S_{wi} 采用双水泥质骨架导电模型计算^[5]); F_w 为含水率; S_o 为含油饱和度; $R_{sw} - R_w$ 为视地层水电阻率与地层水电阻率的差值; R_l 为泥浆滤液电阻率; R_{l1} 为经校正后的深感应电阻率确定的参量; O_1, O_2, O_3, O_4 分别为输出层中油(气)层、油水同层、水层、干层神经元的输出值(可以看出 O_1, O_2, O_3, O_4 输出值的精度较接近 0 或 1,因此,从某个方面来说, BP 网络的精度较高);TYPE 为经 BP 人工神经网络识别得到的地层属性, TYPE = 1, 2, 3, 4 分别代表油(气)层、油水同层、水层、干层。

表 1 塔北 A 井 BP 神经网络识别油气水层实例

h_1	h_2	R_t	S_w	$S_w - S_{wi}$	F_w	S_o	$R_{sw} - R_w$	$\frac{R_w \times R_f}{R_t}$	R_{t1}	O_1	O_2	O_3	O_4	TYPE
4205.50	4215.50	1.421	1.000	.557	1.000	.000	.000	.082	.760	.000	.000	.003	.993	4
4243.60	4253.60	2.267	.616	.326	.389	.070	.054	.101	.077	.038	.998	.000	.000	2
4278.50	4285.20	1.252	.667	.439	.999	.082	.044	.113	.077	.000	1.000	.000	.000	2
4291.50	4302.00	.979	.615	.323	.377	.072	.011	.110	.154	.000	1.000	.000	.000	2
4309.70	4311.40	.609	.527	.222	.065	.083	.000	.066	.143	.051	.982	.000	.000	2
4361.30	4364.50	1.502	.301	.016	.000	.137	.055	.032	.029	1.000	.000	.000	.000	1
4396.50	4398.50	1.243	1.000	.553	1.000	.000	.000	.025	.746	.000	.000	.004	.997	4
4399.50	4401.50	2.078	.159	.010	.000	.101	.041	.018	.045	1.000	.000	.000	.000	1
4403.70	4421.40	2.264	.260	.047	.000	.195	.167	.019	.010	1.000	.000	.000	.000	1
4457.50	4460.40	1.720	.438	.065	.001	.074	.027	.062	.097	1.000	.000	.000	.000	1
4461.50	4471.50	.646	.867	.532	1.000	.020	.000	.088	.240	.000	.000	1.000	.000	3
4471.50	4479.00	.349	1.000	.709	1.000	.000	.000	.075	.279	.000	.000	1.000	.000	3

6 结语

低阻油气层是塔北地区的一种重要油气储层,由于其成因等原因增加了识别油(气)水层的判断难度,我们成功地利用 BP 神经网络技术,识别油气层、油水同层、水层和干层。对 A1 井等实际资料的解释表明, BP 神经网络识别结果与试油和产层的结果一致,没有漏掉油气层,与实际相符,明显地提高了测井的解释精度。

参考文献:

- [1] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价 [A]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [2] 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术 [A]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [3] 樊政军, 金意志, 贺铎华. 低阻储层参数的测井解释与精度检验 [J]. 西北油气勘查与开发, 1996 (1).
- [4] 潘和平, 刘国强. BP 网络确定煤质参数和煤层气含量 [J]. 地球科学, 1997 (3).
- [5] 潘和平, 樊政军, 王家映, 等. 新疆塔北低阻油气储层导电模型—双水泥质骨架导电模型 [J]. 中国科学, 2001 (2).

THE APPLICATION OF BP NEURAL NETWORK TO RECOGNITION OF THE Tabei LOW RESISTIVITY OIL AND GAS LAYERS

HE Duo-hua

(Engineering and Technical Center, Northwest Bureau of Petroleum, New Star Company of China Petroleum and Chemical Industry Corporation, Urumchi 830011, China)

Abstract: This paper describes in brief the lithologic profiles and the geophysical logging curves of the low resistivity oil and gas layers in Tabei area, analyzes the origin of the low resistivity oil and gas reservoirs in that area, and deals emphatically with the principle of applying the neural network to recognizing oil and gas layers, oil-water layers, water layers and dry layers. The recognition of low resistivity oil (gas) layers and water layers is consistent with the real conditions, thus obviously improving the interpretation precision of logging data.

Key words: Tabei area; low resistivity oil and gas layer; BP artificial neural network; interpretation of logging data.

作者简介: 贺铎华 (1961 -) 男, 1985 ~ 1988 年在成都地质学院物探系(石油测井)学习, 目前在中石化新星公司西北石油局工程技术中心工作, 主要从事塔里木盆地测井资料解释与研究。

(上接 130 页)

Abstract: This paper processed the simple fractal data with pyramidal algorithm of wavelet analysis and, in combination with the "random resonance" theory, analyzed and approached noise and error in high-precision micro-magnetic anomaly. According to residual magnetic anomaly detected by tendency analysis, the authors suggest controlling normal random Brown motion of non-integer rank calculus with "shift with the window" least squares technique, and provide essential guidance for effective recognition of high-precision micro-magnetic anomaly.

Key words: wavelet analysis; fractal; random resonance; micro-magnetic anomaly; calculus of non-integral rank

作者简介: 耿喜哲 (1968 -) 男, 黑龙江省呼兰县人, 1999 年获中国地质大学(武汉)硕士学位, 现为该校博士生, 发表论文 3 篇。