

文章编号: 0253-9985(2007)03-0407-06

低孔低渗储层测录井资料油气识别方法

杨思通¹, 孙建孟², 马建海³, 郇光辉⁴

(1. 山东科技大学 地球信息科学与工程学院, 山东 青岛 266510 2. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 3. 中国石油 青海油田分公司, 甘肃 敦煌 736202
4. 中国石化 胜利油田有限公司 测井二公司, 山东 东营 257062)

摘要: 青海乌南油田上油砂山组 (N_2^1) 和下油砂山组 (N_2^2) 储集层平均孔隙度分别为 13.0% 和 13.6%, 平均渗透分别为 $3.88 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 和 $2.93 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, 属于低孔、低渗油田。在低孔、低渗储层, 由于油气储层中测井资料受储层岩性、地层水性质和储层物性等影响较大, 造成含油气储层测井曲线异常特征不明显, 单一应用测井资料识别油、气、水层困难。应用 BP 神经网络技术对乌南油田低孔、低渗储层的测井资料与录井资料进行综合处理, 利用测井信息的丰富性和高分辨率的优势与录井资料识别油、气、水层的直观准确性互相结合对低孔、低渗储层进行油气识别。

关键词: 测井; 气测录井; 地化录井; BP 神经网络; 低孔、低渗储层; 油气识别

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

Identification of hydrocarbons in low-porosity and low-permeability reservoirs by integration of surface log data with wire log information

Yang Sitong¹, Sun Jianmeng², Ma Jianhai³, Xuan Guanghui⁴

(1. Geoinformation Science & Engineering College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510
2. School of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061; 3. Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu, 736202; 4. Na 2 Well Logging Company of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257062)

Abstract Reservoirs in the Upper Youshashan Formation (N_2^1) and the Lower Youshashan Formation (N_2^2) of Wunan oilfield in Qinghai Province are low in porosity (with average porosity at 13.0% and 13.6% respectively) and permeability (with average permeability at $3.88 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ and $2.93 \times 10^3 \mu\text{m}^2$). In this type of reservoirs logging data is greatly affected by the reservoir lithology, formation water characteristics and reservoir physical properties, causing difficulties in distinguishing the curves of oil/gas-bearing layers and differentiating oil and gas layers from water layers according to logging data only. In this paper, BP neural network technology is applied to the integrated processing of wire logging data and surface logging data from the low-porosity and low-permeability reservoirs in Wunan oilfield. The abundance and high resolution of wire log information are combined with the directness and accuracy of surface log data to identify hydrocarbon zones in reservoirs with low porosity and low permeability.

Key words wire log; gas log; geochemical log; BP neural network; low-porosity and low-permeability reservoir; hydrocarbon identification

低渗透储集层成因机理复杂, 储集层性质是沉积、成岩、构造和流体改造作用的综合效应^[1]。其孔隙度较小, 流体含量低, 使储层流体对电性的控制作用远远小于岩性、物性对电性的控制作

用^[2]。因此, 在低孔、低渗油气储层中测井资料受储层岩性、地层水性质和储层物性等影响较大, 造成油层、气层、油水层、水层和干层的测井曲线差异特征不明显, 单一应用测井资料识别油、气困

难。气测录井通过监测返回地面的泥浆所含的烃类含量及各组分的含量比例,定性判别油、气、水层^[3]。地化录井是通过求取储层单位体积的含烃量来判别油、气、水层的^[4]。气测录井和地化录井获得的是地下油气的直接信息,只与储层所含有机烃类物质的丰度和烃类中各成分的百分含量有关,受油气藏储层岩性、地层水性质、物性影响相对较小,是直接发现油气储层的重要手段之一^[5],在低孔、低渗储层油气识别中具有优势^[6]。基于以上理论基础,应用神经网络技术对测井资料与录井资料进行综合处理,利用测井信息的丰富性和分辨率的高优势与录井资料识别油、气、水层的直观、准确性互相结合,对青海乌南油田上油砂山组(N₂¹)和下油砂山组(N₂¹)低孔、低渗储层进行油气识别。

1 青海乌南油田低孔、低渗储层特征

1.1 孔隙度和渗透率物性特征

青海乌南油田 N₂¹ 和 N₂² 为干旱、半干旱气候环境,以季节性河流为主,而且半咸水-咸水环境下早期成岩作用期间容易发生钙质胶结,物性较差,连通性普遍不好^[7],造成 N₂¹ 和 N₂² 孔隙度、渗透率较低,属低孔、低渗储层。N₂¹ 储层平均孔隙度为 13.0%、平均渗透率为 $3.88 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, N₂² 储层平均孔隙度为 13.6%、平均渗透率为 $2.93 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度和渗透率较低,属于低孔、低渗储层(图 1)。

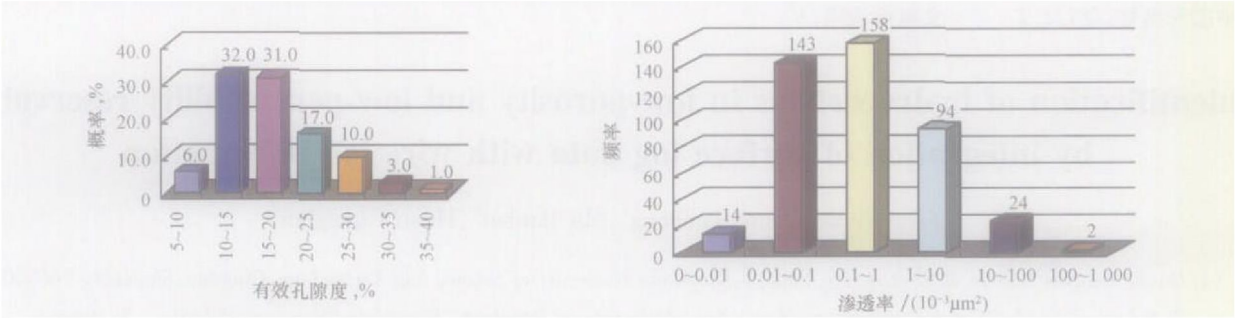


图 1 青海乌南油田 N₂¹ 储层孔隙度、渗透率统计

Fig. 1 Statistics of porosity and permeability in N₂¹ reservoir of Wunan oilfield Qinghai Province

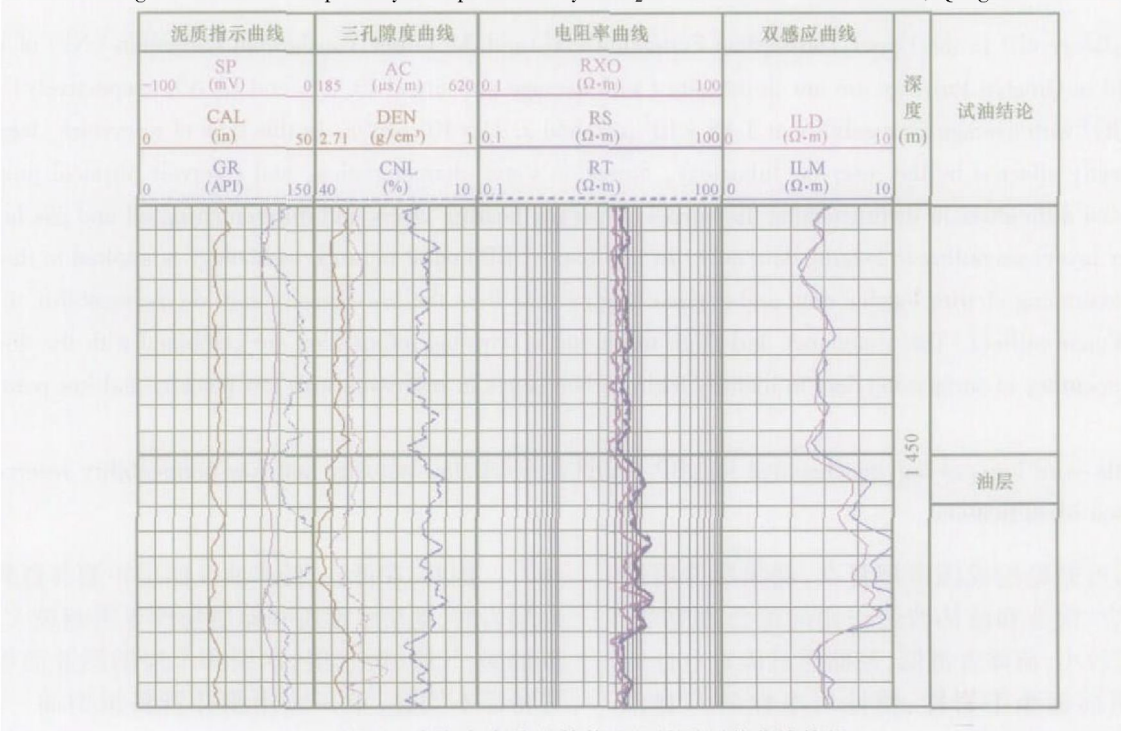


图 2 青海乌南油田某井含油储层测井曲线特征

Fig. 2 Log characteristics of a oil-bearing layer in a well in Wunan oilfield Qinghai Province

1.2 测井曲线特征

N_2^1 和 N_2^2 含油气储层测井曲线异常特征不明显, 和中-高孔、高渗油气储层典型的“三高三低”测井曲线特征有较大差别。某井 1 450~ 1 452 m 井段试油显示工业油层 (图 2), 该井段电阻率和上、下围岩相比没有明显高阻异常, 甚至低于下部井段, 声波时差和密度曲线也没有明显的低异常。图 3 所示某井工业产气层测井曲线同样没有明显异常。因此, 乌南油田 N_2^1 和 N_2^2 低孔、低渗储层测井相应特征不明显, 仅应用测井资料常规方法难以准确判别油气储层。

1.3 录井特征

$C_h - (C_3 + C_4 + C_5) / C_2$ 交会图 (图 4) 显示, 气测录井参数对乌南油田低孔、低渗储层的含气信息比较敏感, 对气层的解释较为准确, 而对油层

和油、水同层解释困难。而 $OPI - GPI$ 交会图 (图 5) 显示, 应用地化录井资料可以准确解释含油储层, 而对其他储层类型难以准确解释。分析其原因认为是由于储层孔隙度和渗透率较低, 且原油含气量较大, 属低比重、低粘度原油, 岩屑在上返过程中, 轻烃容易散失造成的。

录井资料获得地下油气的直接信息, 它只与储层所含有有机烃类物质的丰度和烃类中各成分的百分含量有关, 受储层岩性、地层水性质、物性影响相对较小, 因此具有直观、准确的特点。但泥浆和岩屑在上返过程中扩散, 造成录井资料采样间隔大、分层精度低、储层厚度解释不够精确。

2 低孔、低渗储层测、录井资料识别油气新方法

基于以上结论, 将测井资料与录井资料进行综合处理, 利用测井资料的信息丰富性和分辨率

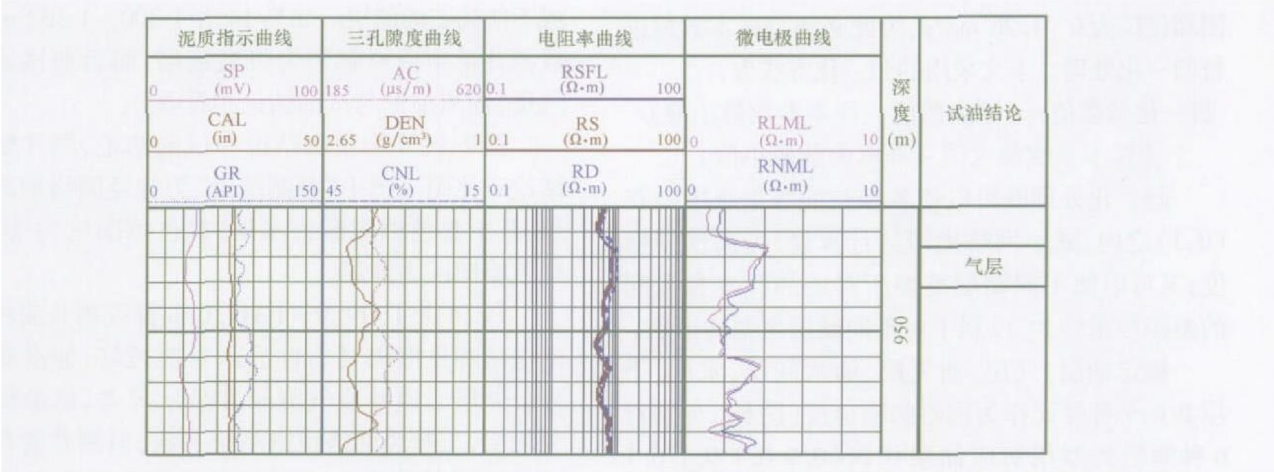


图 3 青海乌南油田某井含气储层测井曲线特征

Fig. 3 Log characteristics of a gas-bearing layer in a well in Wunan oilfield, Qinghai Province

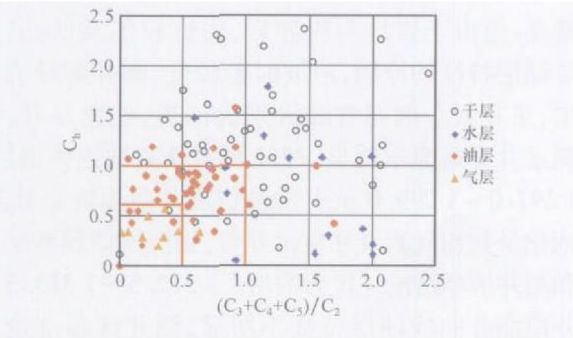


图 4 气测录井参数 $C_h - (C_3 + C_4 + C_5) / C_2$ 交会图

Fig. 4 Cross plot of gas log parameter
 C_h and $(C_3 + C_4 + C_5) / C_2$

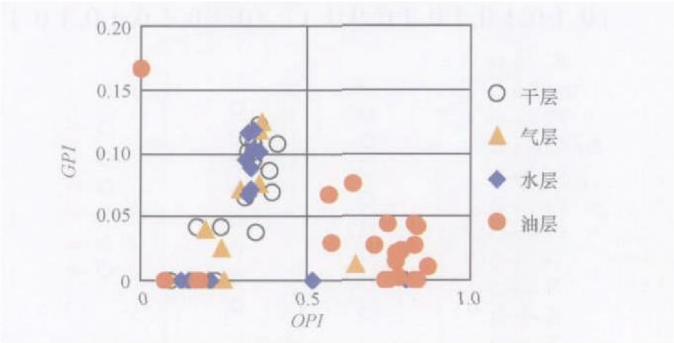


图 5 地化录井参数 $OPI - GPI$ 交会图

Fig. 5 Cross plot of geochemical log parameter
 OPI and GPI

高、分层精度高的优势与录井资料识别油、气、水层的直观、准确性互相结合、互相补充,应用 BP 神经网络技术对低孔、低渗储层进行油气识别。目前人工神经网络中应用最广、最直观、最易理解的算法是 BP 算法。该算法的确切含义是误差反向传播 (Error Back-Propagation), 简称为 BP 算法^[8]。

2.1 BP 神经网络模型

对测井、气测录井和地化录井资料参数进行优选,通过各种资料验证所有测井、录井资料参数对油、气、水层的敏感程度,并通过统计方法将其中相关性较大的参数进行优化组合,最后通过多次神经网络试验,最终采用了测井参数为 AC , SH , R_T , R_T / R_{X0} 、气测录井参数为 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 、地化录井参数为 S_0 , S_1 , S_2 共 11 个神经元作为网络模型的输入层 (图 6)。由于学习样本中各输入参数值在数量级上存在较大的差异,如测井参数 AC 的数值范围在 200~450 $\mu s/m$ 之间,而地化录井参数 S_0 的数值范围却仅仅为 0~1.28 mg/g 为此必须对样本数据进行归一化处理。本文采用的归一化方法为:

$$\text{归一化参数值} = (\text{原参数值} - \text{样本参数最小值}) / (\text{样本参数最大值} - \text{样本参数最小值})$$

归一化处理既可以使各参数的数量级统一在 (0 1) 之内,减小网络模型的计算量,提高预测精度;又可以使不同储层类型所对应的样本参数间的差距尽量增大,以利于对不同储层类型的识别。

确定油层、气层、油气层、油水同层、水层、干层共 6 个神经元作为网络的输出层 (图 6), 分别对 6 种储层类型用对应储层代码 (0.9 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1)、(0.1 0.9 0.1 0.1 0.1 0.1)、(0.1 0.1 0.9 0.1 0.1 0.1)、(0.1 0.1 0.1 0.9 0.1 0.1)、(0.1 0.1 0.1 0.1 0.9 0.1)、(0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1)。

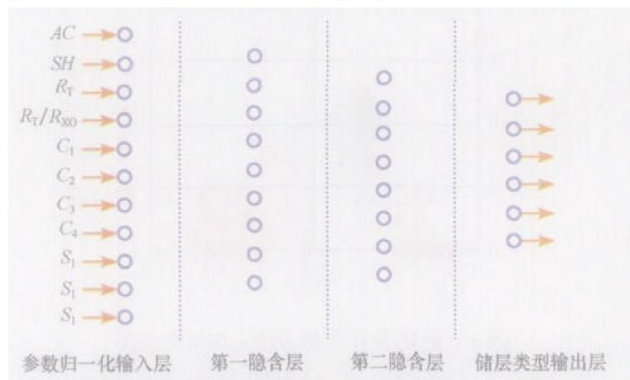


图 6 BP 神经网络结构

Fig. 6 Structure of BP neural network

0.9) 来表示, 以实现数字化神经网络模型。采用自构神经网络的网络结构优化算法对确定的输入、输出模型进行中间层的层数和每一层的神经元个数的优化选择, 确定中间层数为 2 层, 其神经元个数分别为 9 个和 8 个, 相邻两层之间任意两个神经元相连接, 同层神经元之间不连接。

2.2 新方法应用效果分析

应用建立的网络模型, 对 72 个样本进行学习, 用所获得的网络模型对乌南油田乌 14 井、乌 15 井、乌 18 井储层进行了实际应用。3 口井的各种解释结论部分列于表 1。表中各种解释结论的对比结果显示, 油气层预测结论与试油结论的符合率比单用测井资料解释结论的符合率有所提高; 尤其是一些测井特征不明显的层段, 测井解释结论解释为可疑层或没有给出结论, 通过神经网络预测得到了确切的识别。从表中可以看出, 利用测井和录井综合资料可以发现用单项资料不能发现或不能确定的储层。如乌 14 井 1 300~1 302 m 井段测井单项资料解释为可疑油层, 而后期试油为气层, 预测结论与试油结论相符合。

图 7、图 8 为预测结论和试油结论、测井解释结论对比图。图中“预测结论”为神经网络预测结果, 其中蓝色填图区为水层, 黄色填图区为气层, 红色填图区为油层。

乌 14 井 1 314.0~1 317.0 m 井段测井曲线自然电位和自然伽马岩性显示对应较好, 能准确地划分储层。该井段气测录井显示异常, 试油结论为气层, 与神经网络预测结论一致, 但测井解释没有给出解释结论。1 306.0~1 310.0 m 井段神经网络预测结论与试油结论、测井解释结论一致。

乌 15 井 1 278.0~1 280.5 m 井段电阻率值异常高, 但由于岩性为粉砂岩, 岩性较细及低孔、低渗储层特征的原因, 声波时差较低, 测井解释为干层; 录井岩心剖面含油级别为油斑, 地化录井、气测录井异常显示明显, 神经网络预测结论为油层。1 297.0~1 299.0 m 井段油层测井曲线特征明显, 地化录井和气测录井显示异常, 神经网络预测结论和测井解释结论一致为油层。1 312.5~1 313.5 m 井段测井曲线油层特征不明显, 测井解释结论为可疑油层, 后期试油为油层; 地化录井和气测录井异常显示明显, 神经网络预测结论为油层, 与试油结论相符合。

表 1 解释结论对比

Table 1 Correlation of interpretation results

井号	井段 /m	地化 结论	气测 结论	测井结论	预测结论	试油 结论	井号	井段 /m	地化 结论	气测 结论	测井结论	预测结论	试油 结论
乌 14	1 300.0~ 1 302.0			可疑油层	气层	气层	乌 15	1 194.8~ 1 197.1	油层			油层	
乌 14	1 307.0~ 1 309.0			气层	气层		乌 15	1 202.7~ 1 203.5	油层			油层	
乌 14	1 314.0~ 1 317.5		气层		气层	气层	乌 15	1 221.5~ 1 222.5		气层	油层	油层	
乌 14	1 565.8~ 1 569.9	油层	油层	油、水同层	油层		乌 15	1 277.8~ 1 280.2	油层	油层	干层	油层	
乌 14	1 584.2~ 1 585.5	油层	油层	油层	油层		乌 15	1 297.2~ 1 299.0	油层	气层	油层	油层	
乌 14	1 664.0~ 1 668.0	油层			油层	油层	乌 15	1 312.0~ 1 313.0	油层	气层	可疑油层	油层	油层
乌 14	1 672.6~ 1 678.4	油层	水层	油、水同层	油、水同层		乌 18	844.0~ 848.0	水层	气层	气、水同层	气层	
乌 14	1 709.0~ 1 711.0	油层		油层	油、水同层	油、水同层	乌 18	899.0~ 902.0	干层	气层	低产气层	气层	
乌 14	1 759.3~ 1 761.9	油层	油层	油、水同层	油层		乌 18	903.5~ 905.3		气层	低产气层	气层	
乌 15	1 007.2~ 1 007.8	油层	气层	油、气层	气层	气层	乌 18	922.0~ 924.0	干层	气层	气层	气层	
乌 15	1 009.1~ 1 015.5	气层	气层		气层		乌 18	932.0~ 934.1		气层	可疑气层	气层	气层
乌 15	1 017.3~ 1 019.8	油层	气层		油层		乌 18	937.0~ 939.0	气层	气层	气层	油层	
乌 15	1 022.1~ 1 026.1	油层	气层	油、气层	油、气层		乌 18	949.0~ 951.0	干层	气层	油水同层	油层	
乌 15	1 028.7~ 1 029.7	油层	气层	油、气层	油、气层		乌 18	962.0~ 964.0	油层	气层	干层	油层	
乌 15	1 031.9~ 1 034.1	油层	气层	油、气层	油、气层		乌 18	1 008.9~ 1 010.7		油层	油、水同层	油层	
乌 15	1 034.9~ 1 036.9	油层	气层	油、气层	油、气层		乌 18	1 029.2~ 1 031.5		油层	油、水同层	油、水同层	
乌 15	1 050.5~ 1 052.0	油层	油层	油层	油层		乌 18	1 046.0~ 1 048.0	油层			油、水同层	
乌 15	1 067.5~ 1 169.5	油层	气层	油层	油层		乌 18	1 076.0~ 1 078.0	油层	气层	气、水同层	气、水同层	
乌 15	1 121.5~ 1 124.0		非产层	油、水同层	油、水同层		乌 18	1 167.6~ 1 170.8		气层	油层	油层	
乌 15	1 133.0~ 1 139.0		气层	油、水同层	油、水同层		乌 18	1 219.2~ 1 220.9		气层	油、水同层	油、水同层	
乌 15	1 169.0~ 1 169.5		油层	油、水同层	油、水同层		乌 18	1 409.0~ 1 411.0	油层			干层	
乌 15	1 171.3~ 1 172.1	油层	气层	油层	油层		乌 18	1 907.0~ 1 909.0		油层	含油水层	含油水层	
乌 15	1 190.1~ 1 190.4	油层	气层	油层	油层								

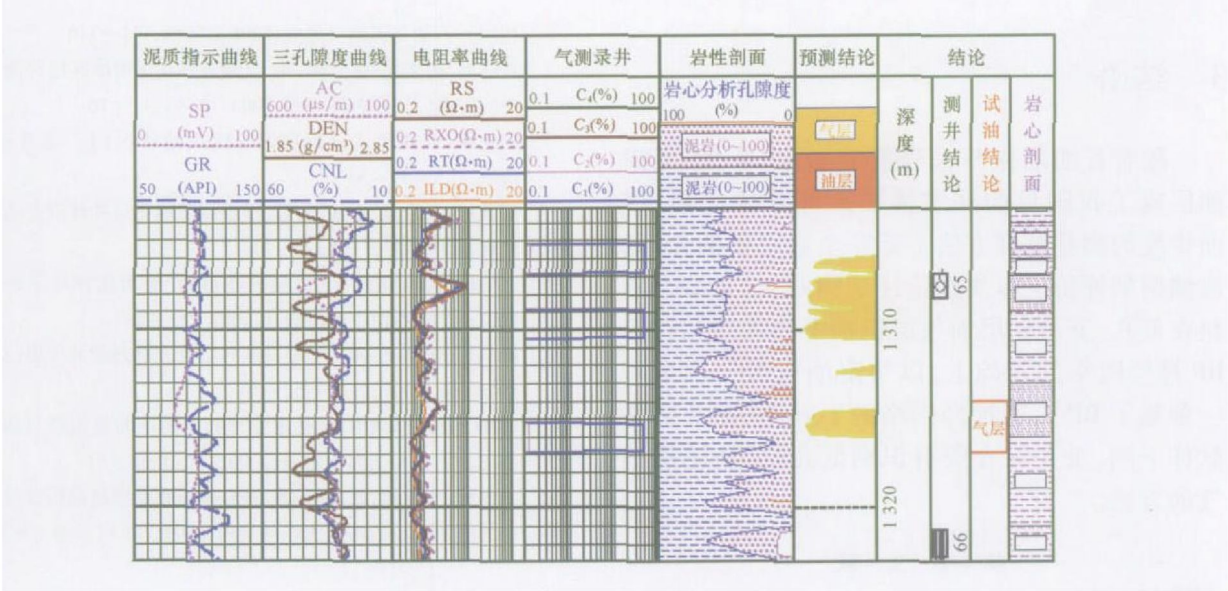


图 7 青海乌南油田乌 14 井气层预测

Fig. 7 Prediction of gas layers in Well U-14 in Wunan oilfield Qinghai Province

该方法对乌南油田的应用实例表明,应用BP神经网络技术对测、录井资料进行处理,油气储层预测结论比测井解释结论和录井解释结论准确性有所提高。该方法为低孔、低渗储层的油气识别提供了一种新的思路和方法。但该方法存在输入参数过多、BP神经网络过于复杂、录井采样点不连续等缺点,有待在应用中进一步改进和完善。

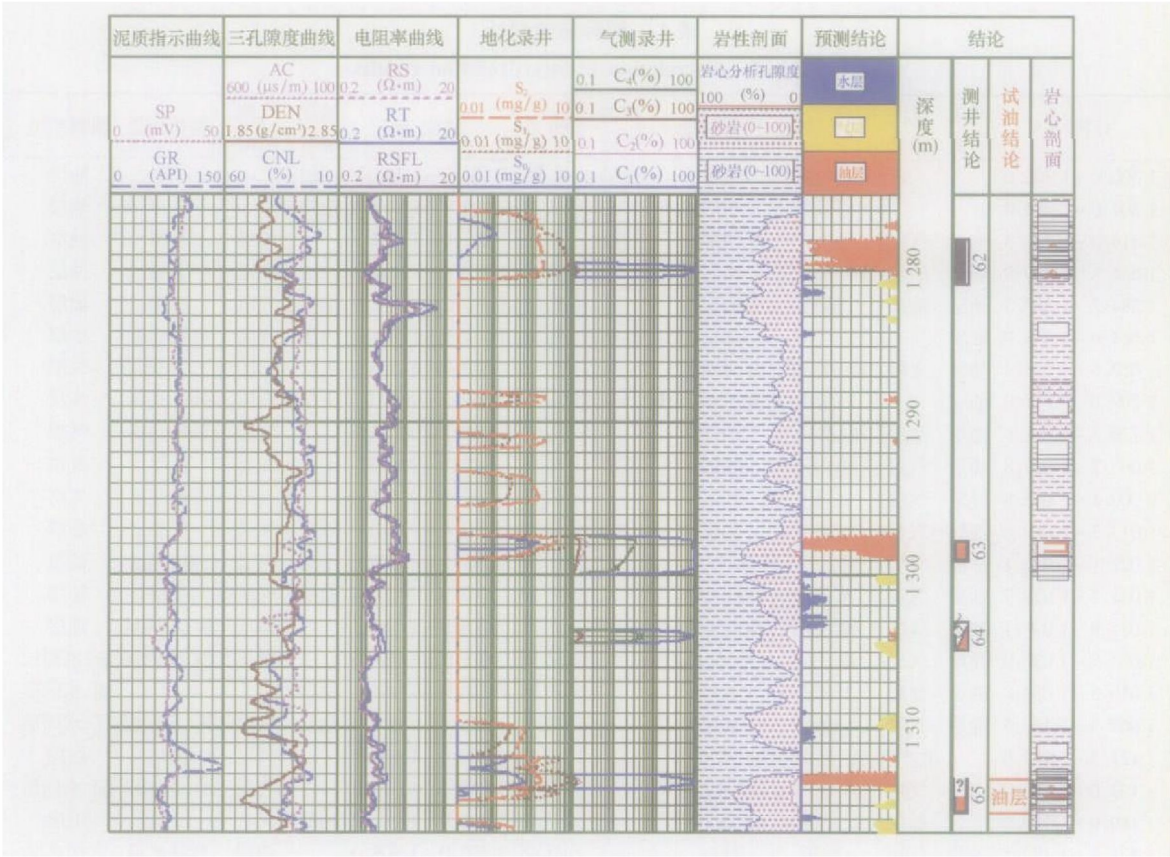


图 8 青海乌南油田 W-15 井油层预测

Fig. 8 Prediction of oil layers in Well W-15 in Wunan oilfield, Qinghai Province

3 结语

随着石油勘探开采程度的加深,低孔、低渗油层成了我国目前许多油田勘探开发的热点。而传统的测井解释方法不能完全适用于低孔、低渗储层的评价。本文在论述了测井、录井综合资料在低孔、低渗储层油气层识别中的优势和介绍 BP 神经网络的基础上,以乌南油田为例提出了一种基于 BP 人工神经网络的 Forward 测井解释软件下测、录井综合资料识别低孔、低渗储层油气的方法。

参 考 文 献

1 李海燕,彭仕宓.应用遗传神经网络研究低渗透储层成岩储集

相[J].石油与天然气地质,2006,27(1):111~116

2 刘应忠,吕文起,张宏艳,等.气测录井在辽河油区特种油气藏中的应用[J].特种油气藏,2003,10(4):14~16

3 吴龙斌.气相色谱分析理论与应用的认识[J].录井技术,1997,8(3):49~54

4 王荣新,秦秉操,夏云厚,等.疑难储层地化录井评价方法[J].河南石油,1997,11(6):7~11

5 《地质监督与录井手册》编辑委员会.地质监督与录井手册[M].北京:石油工业出版社,2001.233~237

6 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,2004,23(4):52~56

7 方向,江波,张永庶.柴达木盆地西部地区断裂构造与油气聚集[J].石油与天然气地质,2006,27(1):58~61

8 王安辉,宇淑颖,张英魁,等.神经网络在低渗透油田试井解释中的应用[J].石油与天然气地质,2004,25(3):338~343

(编辑 李 军)