

利用常规测井资料定性识别凝析油气层

姚美兰¹ 王超² 蒋恒丰¹ 赵红梅¹ 李磊¹

1 河南油田测井公司 2 河南油田采油一厂

摘要：宝浪油田是典型的低孔低渗凝析油气藏，岩性在横向上变化大，油气水在纵向上分布关系复杂，油气层电性差异性小，导致油气层难以识别。利用常规测井曲线，采用三孔隙度重叠法、K函数法、地层胶结指数法可以准确地识别凝析油气层。宝浪油田油气比重差别较小，所以从测井资料上，凝析油与凝析气很难区分开，结合试油资料和油气的性质，认为只要 $\varphi_N < \varphi_A$ 且 $\varphi_N < \varphi_D$ 就有出气的可能。三孔隙度重叠法、K函数法、地层胶结指数法较适合宝浪油田凝析油气层的识别。

关键词：凝析油气层；K函数法；胶结指数；特征参数；油气层识别

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2013.1.010

1 气层特征

宝浪油田是典型的低孔低渗凝析油气藏，岩性在横向上变化大，油气水在纵向上分布关系复杂，油气层电性差异性小，导致油气层难以识别。通过一年多的深入分析和研究认为，利用常规测井曲线，采用三孔隙度重叠法、K函数法、地层胶结指数法可以准确地识别凝析油气层，该方法解决了凝析油气田开发中的一个重大技术难题。

2 凝析油气层识别方法

2.1 三孔隙度重叠法

三孔隙度是指分别由补偿中子测井、密度测井、声波测井求得的孔隙度。当地层中含天然气时，会使求得的中子孔隙度降低，密度孔隙度和声波孔隙度升高。三孔隙度曲线重叠时，若 $\varphi_D > \varphi_N$ ， $\varphi_S > \varphi_N$ ，指示轻质油气层；若三者未出现分离，指示为非轻质油气层。还可以利用孔隙度背景值和下限值的方法来识别轻质油气层。孔隙度背景值是指岩石孔隙完全饱和地层水时的视孔隙度。一般轻质油气层孔隙度背景值是根据中子与密度交会确定的，通常取两者的算术平均值和均方根的平均值作为孔隙度背景值，即

$$\varphi_A = \frac{\varphi_N + \varphi_D}{4} + \sqrt{\frac{\varphi_N^2 + \varphi_D^2}{8}}$$

当 $\varphi_N < \varphi_A$ 、 $\varphi_D > \varphi_A$ 、 $\varphi_S > \varphi_A$ 时，指示轻质油气层；当 $\varphi_N \approx \varphi_A$ 、 $\varphi_D \approx \varphi_A$ 、 $\varphi_S \approx \varphi_A$ 时，指示水层或油层。

轻质油气层孔隙度下限值是指利用测井孔隙度指示轻质油气层的最低标准。通常，把轻质油气层

残余气饱和度平均值20%作为轻质油气层测井饱和度的下限值，推算出轻质油气层测井孔隙度的下限值。

$$\begin{aligned}\varphi_{NC} &= \varphi_A - \frac{1}{5} \varphi_A \frac{H_w - H_g}{H_w - H_{ma}} \\ \varphi_{DC} &= \varphi_A + \frac{1}{5} \varphi_A \frac{\rho_w - \rho_g}{\rho_{ma} - \rho_w} \\ \varphi_{SC} &= \varphi_A + \frac{1}{5} \varphi_A \frac{\Delta t_g - \Delta t_w}{\Delta t_w - \Delta t_{ma}}\end{aligned}$$

当 $\varphi_N < \varphi_{NC}$ 或 $\varphi_D > \varphi_{DC}$ 或 $\varphi_S > \varphi_{SC}$ 时，指示为轻质油气层；当 $\varphi_N > \varphi_{NC}$ 或 $\varphi_D < \varphi_{DC}$ 或 $\varphi_S < \varphi_{SC}$ 时，指示为水层。

2.2 K函数识别方法

K函数识别处理是利用简单的测井数值的组合变换，用直观方式表述储层含气的可能程度。K函数法识别过程分为4个步骤：识别储层；识别气层；识别具有产能的气层；确定适当的综合特征函数阈值完成气层的识别处理。为此设置了4个特征指数。

(1) 储层指数 K_1 。对泥质砂岩而言，储层应是泥质较少并具有一定孔隙空间的较纯地层。常规自然伽马测井提供的自然伽马相对值与储层泥质含量有较好的相关性。因此，设置识别储层的特征参数 K_1 为

$$K_1 = GR_{\min} / GR$$

($K_1 \leq 1$ ；储层的 K_1 范围大致为 $0.7 \leq K_1 \leq 1$)

式中 $GR_{\min}$ 为纯地层自然伽马测井值； GR 为自然伽马测井响应值。



(2) 气层指数 K_2 。利用三孔隙度测井资料, 采用曲线重叠法可直观识别气层。在进行计算机识别处理时, 需要建立特征参数 K_2 (交会孔隙度), $K_2 = \varphi_A \varphi_D / \varphi_N^2$

显然, 对于气层, K_2 应大于1。

(3) 产层指数 K_3 。对于地层水矿化度相对稳定的层段, 自然电位测井信息在一定程度上与地层的渗透特性有关, 而产气层的自然电位相对值是在水层和致密层之间, 因此设置产气层的特征参数为

$$K_3 = 2 \frac{\sqrt{(SP_{\max} - SP)(SP - SP_{\min})}}{SP_{\max} - SP_{\min}}$$

式中 $SP_{\max}$ 、 $SP_{\min}$ 分别为纯砂岩和纯泥岩的自然电位测井值; SP 为自然电位测井响应值。

显然, $K_3 \leq 1$, 并且 K_3 (气层) $> K_3$ (水层)、 K_3 (气层) $> K_3$ (干层)。

(4) 综合指数 K 。针对气层定性识别选用自然伽马、声波、中子、密度和自然电位测井资料的组合变换, 确定的特征参数为 K_1 、 K_2 和 K_3 , 最终建立的合函数 K 为

$$K = CK_1 K_2 K_3$$

式中 C 为经验系数。

根据本地区的地质、测井和测试等资料, 确定适当的 K 函数阈值, 就可对实际测井资料进行产气层的定性识别处理。

图1是宝C井 K 函数气层识别图。从图1可以看出1号层油水同层、6号油层以及10、11号干层其 K 值都小于1, 9号油气同层、12号气层 K 值都大于1。9号层试油为日产液2.4 t, 日产油2.3 t, 日产气874 m³, 解释结论与试油吻合。由此可以看出 K 函数法能有效识别气层。

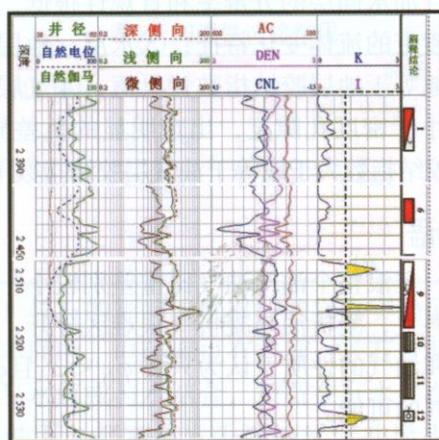


图1 宝C井 K 函数气层识别图

2.3 地层胶结指数法

阿尔奇根据岩石电阻率与孔隙度的测量结果, 提出了胶结指数的概念。胶结指数能把岩石电阻率

转换成有效孔隙度和含水饱和度指数。

$R_0/R_w = a/\varphi^m$ 与 $R_t/R_0 = b/S_w^n$ 是阿尔奇公式, 把两式进行变换得到 $R_t = abR_w/\varphi^m S_w^n$ 。

对上式作等效处理, 把含水饱和度的变化归并到地层胶结指数 (mf) 中去, 获得

$$R_t = abR_w/\varphi^{mf}$$

对上式等效后再两端取对数, 解出地层胶结指数 mf : $mf = m + n \lg S_w / \lg \varphi$

图2是假设地层胶结指数背景值与饱和度指数相等, 取值等于2, 用 $mf = m + n \lg S_w / \lg \varphi$ 计算的地层胶结指数与含水饱和度理论关系曲线图。该图表明, 当储层岩石有效孔隙度固定时, 地层胶结指数随含水饱和度减小而增大。地层胶结指数增大的根本原因是由储层岩石孔隙空间油气引起的。

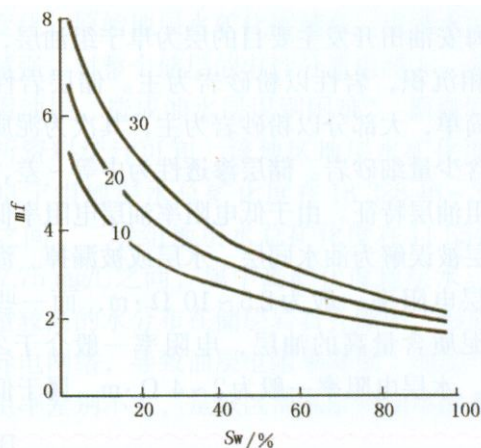


图2 地层胶结指数与含水饱和度关系

本方法引入了油气层含水饱和度下限值概念作为直观指示砂岩油气层的标准。把油气层含水饱和度下限值 (S_{wc}) 确定的地层胶结指数定义为油气层胶结指数下限值 (mc), 用公式表示为

$$mc = m + n \lg S_{wc} / \lg \varphi$$

当油气层含水饱和度下限值不变时, 油气层胶结指数下限值只随孔隙度增大而增大。在一般情况下, 只要地层胶结指数大于或等于油气层胶结指数下限值, 即可以作为直观指示油气层的标准, 即: $mf \geq mc$ 。

地层胶结指数法是由地层胶结指数、地层胶结指数背景值和油气层胶结指数下限值所组成。从测井信息提取这3个参数, 能直观指示油气层。

(1) 地层胶结指数。可以从电阻率和孔隙度测井信息提取地层胶结指数, 数学公式为

$$mf = (\lg a + \lg b + \lg R_w - \lg R_t) / \lg \varphi$$

但储层含泥质时, 地层胶结指数用泥质法的校正公式是



海安地区低阻油层的成因

李玲莉 河南油田测井公司

摘要：海安油田开发主要目的层为阜宁组油层，属于河湖相沉积，岩性以粉砂岩为主。储层渗透性为中等~差，表现为低阻油层特征。由于储层岩性细导致高束缚水含量，强亲水的润湿性，长石含量高以及地层水矿化度高，这四大重要因素共同作用，造成了海安地区低阻油层的形成。了解该区低阻成因，结合地质录井资料，加强地层构造分析和地层对比，深入研究测井资料响应特征，才能准确、有效地识别油水层。

关键词：低阻油层；低阻成因；岩性细；润湿性；长石；高矿化度

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2013.1.011

1 储层性质

海安油田开发主要目的层为阜宁组油层，属于河湖相沉积，岩性以粉砂岩为主。储层岩性比较细、简单，大部分以粉砂岩为主，其次为泥质粉砂岩，含少量细砂岩。储层渗透性为中等~差，表现为低阻油层特征。由于低电阻率油层电阻率低，导致油层被误解为油水同层、水层或被漏掉。海安油田油层电阻率一般为 $2.5 \sim 10 \cdot \text{m}$ ，而一些岩性细、泥质含量高的油层，电阻率一般介于 $2 \sim 4.5 \cdot \text{m}$ 。水层电阻率一般为 $2 \sim 4 \cdot \text{m}$ ，属于低阻油

层的范畴。为了更好地识别该区油藏，提高开发效果，对该区油层低阻成因进行分析具有重要的意义。

2 低阻成因

(1) 岩性细、束缚水含量高。当地层岩性变细时，泥质、细粉砂含量增加，使岩石比表面增大，结果使束缚水含量大大增加，增强了岩石的导电能力，从而导致油层的电阻率下降^[1]；同时颗粒细、原生孔隙小，使孔隙中的水难于在其中流动，也就不利于碳酸盐岩的溶解。这些未被完全溶解的碳酸盐胶结物，致使表面本来比较光滑的石英、长石等

$$mf = \frac{\lg a + \lg b + \lg R_w - \lg R_t}{\lg(\varphi + \varphi_{sh} V_{sh})}$$

(2) 地层胶结指数背景值。把岩石粒间孔隙空间完全饱和地层水时的胶结指数定义为地层胶结指数背景值，也等于胶结指数，从测井信息或实验室测量数据提取胶结指数的计算公式是

$$m = \frac{\lg a + \lg b + \lg R_w - \lg R_t}{\lg \varphi}$$

(3) 油气层胶结指数下限值。油气层胶结指数下限值的设定目的是提高地层胶结指数法指示油气层的直观性。通常，砂岩油气层含油气饱和度下限值取为40%，根据胶结指数计算公式即可确定油气层胶结指数下限值(mc)，即 $mc = m + n \lg 0.6 / \lg \varphi$ 。

如果储层含泥质，要利用泥质法进行泥质校正。得到油气层胶结指数下限值公式是

$$mc = m + n \left[\frac{\lg(0.6\varphi + \varphi_{sh} V_{sh})}{\lg(\varphi + \varphi_{sh} V_{sh})} - 1 \right]$$

地层胶结指数法指示砂岩油气层、油水同层以及水层的特征如下：油气层，地层胶结指数大于

或等于油气层胶结指数下限值且具有较高的分辨率和直观性，根据地层胶结指数法计算的含水饱和度小于或等于60%；油水同层，地层胶结指数大于地层胶结指数背景值但小于油气层胶结指数下限值，并且油水同层的分辨率和直观性很低，这反映油水过渡带的流体变化特征；水层，地层胶结指数近似地等于地层胶结指数背景值；气层，中子孔隙度小于密度孔隙度，出现明显的负差异特征，而地层胶结指数大于或等于油气层胶结指数下限值。

3 结语

(1) 宝浪整个油田油气比重差别较小，所以从测井资料上，凝析油与凝析气很难区分开，结合试油资料和油气的性质，认为只要 $\varphi_N < \varphi_A$ 且 $\varphi_N < \varphi_D$ 就有出气的可能。

(2) 三孔隙度重叠法、K函数法、地层胶结指数法较适合宝浪油田凝析油气层的识别。

(栏目主持 杨 军)

