

用“天然气标志”指示气层

谭廷栋 张志伟

(石油工业部石油勘探开发科学研究院)

本文介绍了“天然气标志”法的基本原理,提供了3个应用实例。

(一) 侵入带岩石模型

泥浆侵入气层,引起含气饱和度降低。在一般情况下,气层侵入前的含气饱和度比侵入后高1到4倍。在中子与密度测井探测范围内,只要侵入带含气饱和度大于20%,可以直观指示是气层¹⁾。

图1是气层侵入带岩石模型。左图是纯砂岩气层,右图是泥质砂岩气层。

1. 纯砂岩气层

在纯砂岩气层中,侵入带单位体积岩石由骨架(颗粒)、有效孔隙以及充填在有效孔隙

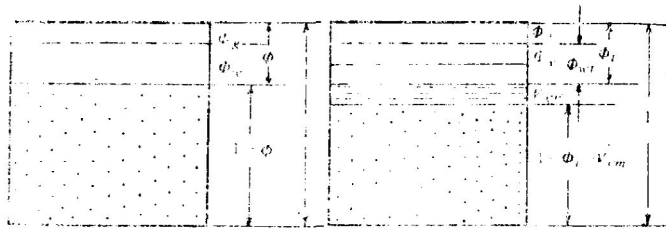


图1 气层侵入带岩石模型

空间的流体组成。流体孔隙包括含气孔隙和含水(地层水和泥浆滤液)孔隙两部分。

气层侵入带单位体积岩石有效孔隙空间含气饱和度定义为有效孔隙含气孔隙度与岩石有效孔隙度之比:

$$S_g = \frac{\phi_g}{\phi} \quad (1)$$

式中 S_g ——侵入带含气饱和度, 小数;

ϕ_g ——侵入带含气孔隙度, 小数;

ϕ ——岩石有效孔隙度, 小数。

纯砂岩气层侵入带含气孔隙度等于岩石有效孔隙度与侵入带含水孔隙度之差:

$$\phi_g = \phi - \phi_w \quad (2)$$

式中 ϕ_w ——纯砂岩气层侵入带含水孔隙度, 小数。

(2)式代入(1)式, 得:

$$S_g = \frac{\phi - \phi_w}{\phi} \quad (3)$$

根据经验, “20%”可以作为侵入带“天然气标志”法直观指示气层的含气饱和度下限值:

本文1987年10月14日收到, 12月14日改回。

1) Schlumberger, 1978, The Schlumberger Cyberlook Wellsite Computation, C-12024, Copyright by Schlumberger, Houston. 式(46)、(47)、(50)出处同此。

$$(\phi - \phi_w) > \frac{\phi}{5} \quad (4)$$

式(4)表述了侵入带“天然气标志”法直观指示纯砂岩气层的基本原理。

2. 泥质砂岩气层

在泥质砂岩气层中，侵入带单位体积岩石由骨架、粘土矿物、总孔隙以及充填在总孔隙空间的流体组成。流体孔隙包括含气孔隙和含水（地层水、粘土水和泥浆滤液）孔隙两部分。

泥质砂岩气层侵入带单位体积岩石有效孔隙空间含气饱和度仍用(1)式定义。侵入带含气孔隙度则等于岩石总孔隙度与侵入带总含水孔隙度之差：

$$\phi_g = \phi_t - \phi_{wt} \quad (5)$$

式中 ϕ_t ——岩石总孔隙度，小数；

ϕ_{wt} ——泥质砂岩气层侵入带总含水孔隙度，小数。

(5)式代入(1)式，得：

$$S_g = \frac{\phi_t - \phi_{wt}}{\phi} \quad (6)$$

岩石有效孔隙度与总孔隙度的关系是：

$$\phi = \phi_t (1 - S_{wb}) \quad (7)$$

式中 S_{wb} ——粘土水饱和度，小数。

(7)式代入(6)式，得：

$$S_g = \frac{\phi_t - \phi_{wt}}{\phi_t (1 - S_{wb})} \quad (8)$$

对泥质砂岩气层侵入带，仍以“20%”作为侵入带“天然气标志”法直观指示气层的下限值：

$$(\phi_t - \phi_{wt}) > \frac{\phi_t (1 - S_{wb})}{5} \quad (9)$$

式(9)表述了侵入带“天然气标志”法直观指示泥质砂岩气层的基本原理。

(二) 侵入带含水孔隙度

气层侵入带含水孔隙度用中子与密度孔隙度确定。

中子测井是测量气层侵入带岩石的含氢指数。当测量的气层岩石含氢指数小于气层岩石实际的含氢指数时，中子测井存在挖掘效应¹⁾，它对确定气层侵入带含水孔隙度具有重要的意义。密度测井是测量气层侵入带岩石体积密度，测量的气层岩石体积密度与气层岩石实际的体积密度一致。中子与密度测井读数经过计算机处理，获得中子孔隙度与密度孔隙度。

1. 确定 ϕ_w

ϕ_w 是纯砂岩气层侵入带含水孔隙度(图1左)。中子与密度测井测量的纯砂岩气层侵入带岩石含氢指数和体积密度同侵入带含水孔隙度的关系式介绍如下。

岩石含氢指数与侵入带含水孔隙度的关系是：

$$H = \phi_w H_w + \phi_g H_g + (1 - \phi_w - \phi_g) H_{ms} - \Delta H_{ex} \quad (10)$$

1) Segesman, F. and Liu, O., 1971, The Excavation Effect, SPWLA Twelfth Annual Logging Symposium,

式中 H ——岩石含氢指数, 小数;
 H_w ——水的含氢指数, 小数;
 H_g ——天然气含氢指数, 小数;
 H_{ms} ——砂岩骨架含氢指数, 小数;
 ΔH_{ex} ——用含氢指数表示的挖掘效应, 小数。

纯砂岩气层侵入带岩石含氢指数用石灰岩骨架刻度成石灰岩中子孔隙度:

$$\phi_n = \phi_w + \phi_w \left(\frac{H_{m1} - H_{ms}}{H_w - H_{m1}} \right) + \phi_g \left(\frac{H_g - H_{ms}}{H_w - H_{m1}} \right) - \Delta \phi_{nex} - \left(\frac{H_{m1} - H_{ms}}{H_w - H_{m1}} \right) \quad (11)$$

式中 ϕ_n ——石灰岩中子孔隙度, 小数;
 H_{m1} ——石灰岩骨架含氢指数, 小数;
 $\Delta \phi_{nex}$ ——挖掘效应中子响应孔隙度, 小数。

岩石体积密度与侵入带含水孔隙度的关系是:

$$\rho_b = \phi_w \rho_w + \phi_g \rho_g + (1 - \phi_w - \phi_g) \rho_{ms} \quad (12)$$

式中 ρ_b ——岩石体积密度, g/cm^3 ;
 ρ_w ——水的密度, g/cm^3 ;
 ρ_g ——天然气密度, g/cm^3 ;
 ρ_{ms} ——砂岩骨架密度, g/cm^3 。

纯砂岩气层侵入带岩石体积密度用石灰岩骨架刻度成石灰岩密度孔隙度:

$$\phi_d = \phi_w - \phi_w \left(\frac{\rho_{m1} - \rho_{ms}}{\rho_{m1} - \rho_w} \right) + \phi_g \left(\frac{\rho_g - \rho_{ms}}{\rho_w - \rho_{m1}} \right) + \left(\frac{\rho_{m1} - \rho_{ms}}{\rho_{m1} - \rho_w} \right) \quad (13)$$

式中 ϕ_d ——石灰岩密度孔隙度, 小数;
 ρ_{m1} ——石灰岩骨架密度, g/cm^3 。

取中子与密度孔隙度的算术平均值, 获得纯砂岩气层侵入带岩石视有效孔隙度:

$$\phi_a = \frac{\phi_n + \phi_d}{2} \quad (14)$$

式中 ϕ_a ——纯砂岩气层侵入带岩石视有效孔隙度, 小数。

将(12)与(13)式代入(14)式, 获得:

$$\begin{aligned} \phi_a = & \phi_w + \frac{1}{2} \phi_w \left[\left(\frac{H_{m1} - H_{ms}}{H_w - H_{m1}} \right) - \left(\frac{\rho_{m1} - \rho_{ms}}{\rho_{m1} - \rho_w} \right) \right] \\ & + \frac{1}{2} \left\{ \phi_g \left[\left(\frac{H_g - H_{ms}}{H_w - H_{m1}} \right) + \left(\frac{\rho_g - \rho_{ms}}{\rho_w - \rho_{m1}} \right) \right] - \Delta \phi_{nex} \right\} \\ & + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\rho_{m1} - \rho_{ms}}{\rho_{m1} - \rho_w} \right) - \left(\frac{H_{m1} - H_{ms}}{H_w - H_{m1}} \right) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

以流体、骨架参数以及含气孔隙度与挖掘效应中子响应孔隙度的数值代入式(15), 该式等号右端第2、3、4项的计算结果接近于零。于是, 纯砂岩气层侵入带岩石视有

效孔隙度近似地等于侵入带含水孔隙度：

$$\phi_a \approx \phi_w \quad (16)$$

2. 确定 ϕ_{wt}

岩石含氢指数与侵入带总含水孔隙度的关系是：

$$H = \phi_{wt} H_w + \phi_{gt} H_g + V_{cm} H_{cm} + (1 - \phi_{wt} - \phi_{gt} - V_{cm}) H_{ms} - \Delta H_{ex} \quad (17)$$

式中 H_{cm} ——粘土矿物含氢指数，小数；

V_{cm} ——粘土矿物含量，小数；

ϕ_{gt} ——泥质砂岩气层侵入带总含气孔隙度，小数。

泥质砂岩气层侵入带岩石含氢指数同样可用石灰岩骨架刻度成石灰岩中子孔隙度：

$$\begin{aligned} \phi_n = & \phi_{wt} + \phi_{wt} \left(\frac{H_{ml} - H_{ms}}{H_w - H_{ml}} \right) + \phi_{gt} \left(\frac{H_g - H_{ms}}{H_w - H_{ml}} \right) \\ & - \phi_{n_{ex}} + V_{cm} \left(\frac{H_{cm} - H_{ms}}{H_w - H_{ml}} \right) - \left(\frac{H_{ml} - H_{ms}}{H_w - H_{ml}} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

岩石体积密度与侵入带总含水孔隙度的关系是：

$$\begin{aligned} \rho_b = & \phi_{wt} \rho_w + \phi_{gt} \rho_g + V_{cm} \rho_{cm} \\ & + (1 - \phi_{wt} - \phi_{gt} - V_{cm}) \rho_{ms} \end{aligned} \quad (19)$$

式(16)和(22)表明，纯砂岩气层侵入带含水孔隙度和泥质砂岩气层侵入带总含水孔隙度都可以用中子与密度孔隙度的算术平均值大体上确定。

(三) 岩石孔隙度

气层侵入带岩石孔隙度同样可用中子与密度孔隙度确定。应用中子与密度孔隙度确定的气层侵入带岩石孔隙度，要进行天然气校正。

1. 确定 ϕ

ϕ 是纯砂岩气层侵入带岩石有效孔隙度(参看图1左)。

- 1) 在测井数据处理解释中，由于泥质砂岩气层和纯砂岩气层侵入带岩石的中子与密度孔隙度使用的符号相同，因此，泥质砂岩气层侵入带岩石视总孔隙度使用的符号也与纯砂岩气层侵入带岩石视有效孔隙度符号一样。

纯砂岩气层侵入带岩石含氢指数与岩石有效孔隙度的关系是:

$$H = \phi H_w + (1 - \phi) H_{ms} - \phi S_g (H_w - H_g) - \Delta H_{ex} \quad (23)$$

由于水的含氢指数大于天然气含氢指数, 含气饱和度和挖掘效应同时引起岩石含氢指数降低。如果把天然气和挖掘效应的影响归并到地层视骨架含氢指数中去, 那么(23)式可以写成以下等效形式:

$$H = \phi H_w + (1 - \phi) H_{m\alpha\alpha} \quad (24)$$

式中 $H_{m\alpha\alpha}$ ——地层视骨架含氢指数, 小数。

因为天然气和挖掘效应归并到地层视骨架含氢指数中去了, 所以地层视骨架含氢指数小于砂岩骨架含氢指数。

地层视骨架含氢指数与砂岩骨架含氢指数以及天然气和挖掘效应之间的关系是:

$$H_{m\alpha\alpha} = H_{ms} - \frac{1}{1 - \phi} [\phi S_g (H_w - H_g) - \Delta H_{ex}] \quad (25)$$

根据(24)式, 把测量的岩石含氢指数转换成石灰岩中子孔隙度, 有:

$$\phi_n = \phi + \phi \left(\frac{H_{ml} - H_{m\alpha\alpha}}{H_w - H_{ml}} \right) - \left(\frac{H_{ml} - H_{m\alpha\alpha}}{H_w - H_{ml}} \right) \quad (26)$$

$$\phi_n = \phi + \phi A - A \quad (27)$$

式中 A ——中子孔隙度校正因子, 小数。

纯砂岩气层侵入带岩石体积密度与岩石有效孔隙度的关系是:

$$\rho_b = \phi \rho_w + (1 - \phi) \rho_{ms} - \phi S_g (\rho_w - \rho_g) \quad (28)$$

如果把天然气影响归并到地层视骨架密度中去, 那么(28)式可以写成下列等效形式:

$$\rho_b = \phi \rho_w + (1 - \phi) \rho_{m\alpha\alpha} \quad (29)$$

式中 $\rho_{m\alpha\alpha}$ ——地层视骨架密度, g/cm^3 。

由于天然气密度小于水的密度, 因此, 地层视骨架密度小于砂岩骨架密度。

地层视骨架密度与砂岩骨架密度以及天然气之间的关系是:

$$\rho_{m\alpha\alpha} = \rho_{ms} - \frac{1}{1 - \phi} \phi S_g (\rho_w - \rho_g) \quad (30)$$

根据(29)式, 把测量的岩石体积密度转换成石灰岩密度孔隙度, 有:

$$\phi_d = \phi - \phi \left(\frac{\rho_{ml} - \rho_{m\alpha\alpha}}{\rho_{ml} - \rho_w} \right) + \left(\frac{\rho_{ml} - \rho_{m\alpha\alpha}}{\rho_{ml} - \rho_w} \right) \quad (31)$$

该式可进一步写成:

$$\phi_d = \phi - \phi B + B \quad (32)$$

式中 B ——密度孔隙度校正因子, 小数。

按照(27)与(32)式, 取中子与密度孔隙度的算术平均值, 获得纯砂岩气层侵入带岩石视有效孔隙度与岩石有效孔隙度的关系式:

$$\phi_a = \frac{2\phi + \phi(A - B) - (A - B)}{2} \quad (33)$$

令 $A-B=r$ ，代入 (33) 式，得到：

$$\phi_a = \frac{2\phi + \phi r - r}{2} \quad (34)$$

式中 r ——中子与密度孔隙度校正因子（简称校正因子），小数。

由 (34) 式可解出岩石有效孔隙度：

$$\phi = \frac{2\phi_a + r}{2 + r} \quad (35)$$

该式是确定纯砂岩气层侵入带岩石有效孔隙度的结论公式。纯砂岩气层岩石有效孔隙度始终大于视有效孔隙度。

2. 确定 ϕ_i

ϕ_i 是泥质砂岩气层侵入带岩石总孔隙度（图1右）。泥质砂岩气层侵入带岩石含氢指数与岩石总孔隙度的关系是：

$$H = \phi_i H_w + (1 - \phi_i) H_{m\alpha\alpha} - \phi_i S_{gt} (H_w - H_g) - \Delta H_{ex} + V_{cm} (H_{cm} - H_{ms}) \quad (36)$$

式中 S_{gt} ——总孔隙含水饱和度，小数。

把天然气、挖掘效应与粘土矿物归并到地层视骨架含氢指数中去，(36)式可写成：

$$H = \phi_i H_w + (1 - \phi_i) H_{m\alpha\alpha} \quad (37)$$

式中 $H_{m\alpha\alpha}$ ——（泥质砂岩）地层视骨架含氢指数¹⁾，小数。

泥质砂岩地层视骨架含氢指数与砂岩骨架含氢指数以及天然气、挖掘效应和粘土矿物之间的关系是：

$$H_{m\alpha\alpha} = H_{ms} - \frac{1}{1 - \phi_i} \left[\phi_i S_{gt} (H_w - H_g) - \Delta H_{ex} + V_{cm} (H_{cm} - H_{ms}) \right] \quad (38)$$

该式指出，天然气与挖掘效应引起地层视骨架含氢指数减小，粘土矿物则引起地层视骨架含氢指数增大。

(37)式可用石灰岩中子孔隙度表示为：

$$\phi_n = \phi_i + \phi_i A - A \quad (39)$$

泥质砂岩气层侵入带岩石体积密度与岩石总孔隙度的关系是：

$$\rho_b = \phi_i \rho_w + (1 - \phi_i) \rho_{ms} - \phi_i S_{gt} (\rho_w - \rho_g) + V_{cm} (\rho_{cm} - \rho_{ms}) \quad (40)$$

仍然把天然气以及粘土矿物归并到地层视骨架密度中去，(40)式成为：

$$\rho_b = \phi_i \rho_w + (1 - \phi_i) \rho_{\alpha\alpha} \quad (41)$$

式中 $\rho_{\alpha\alpha}$ ——（泥质砂岩）地层视骨架密度， g/cm^3 。

泥质砂岩地层视骨架密度与砂岩骨架密度以及天然气和粘土矿物之间的关系是：

1) 在纯砂岩气层与泥质砂岩气层中，地层视骨架含氢指数以及地层视骨架密度都是使用相同的代表符号。

$$\rho_{ma} = \rho_{ms} - \frac{1}{1 - \phi_i} \left[\phi_i S_{gi} (\rho_w - \rho_g) + V_{cm} (\rho_{cm} - \rho_{ms}) \right] \quad (42)$$

该式指出, 天然气引起地层视骨架密度减小, 而粘土矿物引起地层视骨架密度增大。

(41) 式可用石灰岩密度孔隙度表示为:

$$\phi_d = \phi_i - \phi_i B - B \quad (43)$$

根据 (39) 与 (43) 式, 仍然取中子与密度孔隙度的算术平均值, 可获得泥质砂岩气层侵入带岩石视总孔隙度与岩石总孔隙度的关系式:

$$\phi_a = \frac{2\phi_i + \phi_i (A - B) - (A - B)}{2} \quad (44)$$

设 $A - B = r$, 代入 (44) 式, 可解出岩石总孔隙度:

$$\phi_i = \frac{2\phi_a + r}{2 + r} \quad (45)$$

该式是确定泥质砂岩气层侵入带岩石总孔隙度的结论公式。泥质砂岩气层岩石总孔隙度始终大于视总孔隙度。

(四) 粘土水饱和度

在泥质砂岩气层中, 还要确定粘土水饱和度。粘土水饱和度又称粘土束缚水饱和度, 通常使用泥质指数的最小值确定。目前, 常用的泥质指数有自然伽马泥质指数、自然电位泥质指数和中子孔隙度泥质指数。

根据实验, 泥质指数最小值 (又称最小泥质指数) 相当于粘土含量。应从 3 种泥质指数中选择最小的一种确定粘土水饱和度。

当最小泥质指数大于 0.5 时, 确定粘土水饱和度的经验公式是:

$$S_{wb} = \frac{PMAX^2 \cdot MSI - 0.3 (1 - 2MSI)}{PMAX^2 - 0.3 (1 - 2MSI)} \quad (46)$$

式中 MSI ——最小泥质指数, 小数;

$PMAX$ ——泥质最大孔隙度, 小数。(指泥岩含束缚水孔隙度, 用泥岩中子与密度孔隙度的算术平均值求得。)

当最小泥质指数小于 0.5 时, 确定粘土水饱和度的经验公式是:

$$S_{wb} = \frac{2MSI}{2 + 0.6 (1 - 2MSI) / PMAX^2} \quad (47)$$

图 2 最小泥质指数与粘土水饱和度的关系曲线, 是用 (46) 与 (47) 式计算的。

粘土水饱和度在侵入带“天然气标志”法中用途很广, 它不仅用于确定“天然气标志”, 而且还用于评价产气层的有效厚度。

(五) “天然气标志”

根据气层侵入带岩石模型以及推导的气层侵入带含水孔隙度、岩石孔隙度和粘土水饱和度公式, 可以确定侵入带“天然气标志”, 用于直观指示气层。

1. 纯砂岩气层“天然气标志”

把岩石有效孔隙度和侵入带含孔水隙度（即岩石视孔隙度）代入（4）式，并进行计算机处理，获得纯砂岩气层侵入带“天然气标志”：

$$(\phi - \phi_a) > \frac{\phi}{5} \quad (48)$$

该式表明，当测量的岩石有效孔隙度与视有效孔隙度差值（ $\phi - \phi_a$ ）大于 $\phi/5$ 时，侵入带“天然气标志”输出值为1，直观指示是气层。如果侵入带“天然气标志”输出值为零，那么指示是非气层。

2. 泥质砂岩气层“天然气标志”

把岩石总孔隙度、侵入带总含水孔隙度（即岩石视总孔隙度）和粘土水饱和度代入（9）式，并进行计算机处理，获得泥质砂岩气层侵入带“天然气标志”：

$$(\phi_t - \phi_c) > \frac{\phi_t(1 - S_{wb})}{5} \quad (49)$$

当测量的岩石总孔隙度与视总孔隙度差值（ $\phi_t - \phi_c$ ）大于 $\phi_t(1 - S_{wb})/5$ 时，侵入带“天然气标志”输出值为1，直观指示是气层。如果侵入带“天然气标志”输出值为零，那么指示是非气层。

在泥质砂岩气层中，当粘土水饱和度大于岩石有效孔隙度2倍时，泥质砂岩失去渗透性，可以获得非产层标记。计算非产层标记的公式是：

$$S_{wb} > 2\phi \quad (50)$$

再把（7）式代入（50）式，可解出粘土水饱和度：

$$S_{wb} > \frac{2\phi_t}{1 + 2\phi_t} \quad (51)$$

该式是计算非产层标记的结论公式。粘土水饱和度越低，气层渗透性越高。泥质砂岩气层渗透性随着粘土水饱和度增高而降低。

“天然气标志”与非产气层标记组合使用，可以评价产层的渗透性，从而能够确定泥质砂岩产气层的有效厚度。

“天然气标志”示于图3至图5深度道右边，非产层标记示于图3至图5含水饱和度道左边。

（六）应用实例

侵入带“天然气标志”法应用实例示于图3至图5中。图3至图5的显示内容是：深度左边第1道——地层电阻率（ Ωm ）；地层真电阻率（ R_t ）、水层电阻率（ R_o ）；深度右边第1道——地层骨架密度（ g/cm^3 ）；地层骨架密度（ ρ_{sc} ）、地层视骨架密度（ ρ_{ga} 或 ρ_{ma} ）；第2道——泥质指数（用小数表示）；自然伽马泥质指数（ SI_{gr} ，用

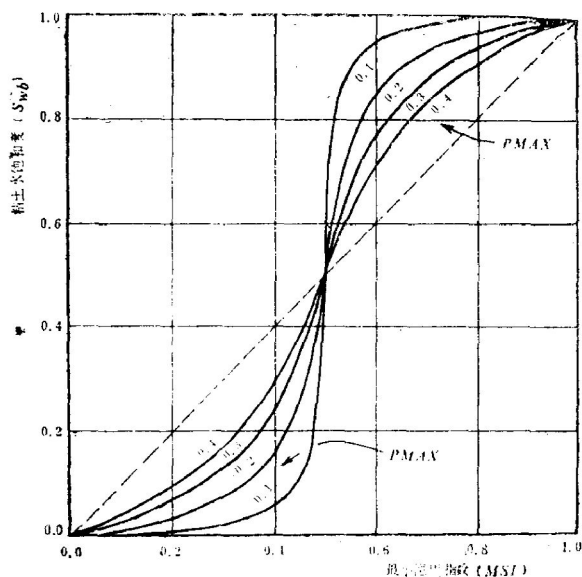


图2 最小泥质指数与粘土水饱和度的关系
(据Schlumberger, 1978)

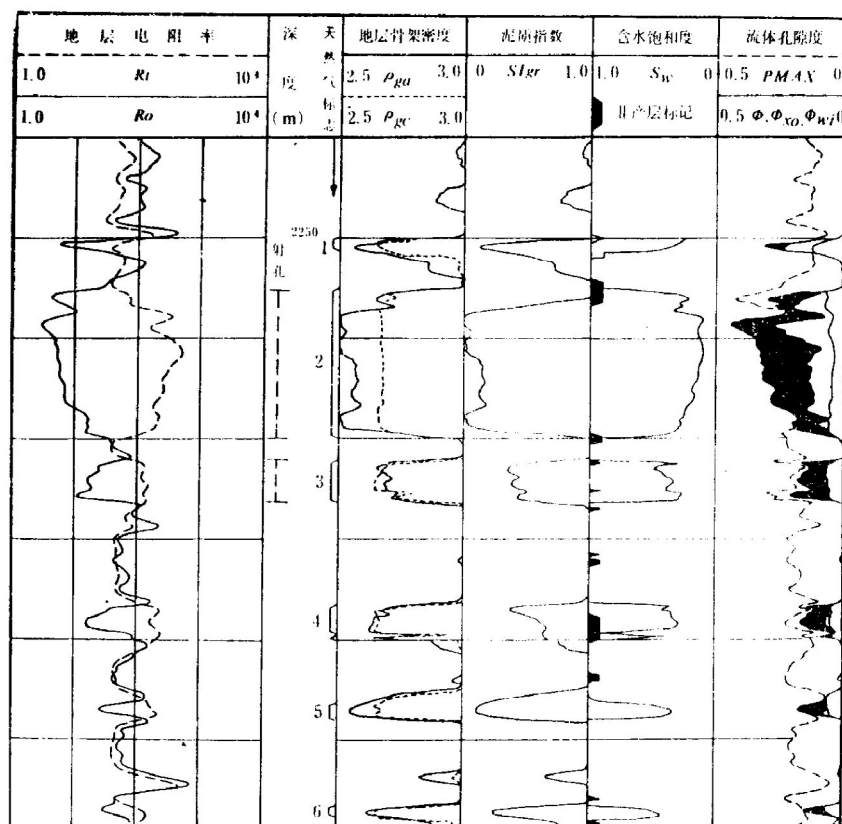


图3 侵入带“天然气标志”法应用实例之一

它代替 MSI);第3道——含水饱和度(小数):有效孔隙含水饱和度(S_w)、非产层标记;第4道——流体孔隙度(小数):泥质最大孔隙度($PMAX$)、岩石有效孔隙度(ϕ)、冲洗带(或非侵入带)含水孔隙度(ϕ_{wi})、非冲洗带(或非侵入带)含水孔隙度(ϕ_{wi})。井径差值位于第3道和第4道之间。

图3是某气藏用侵入带“天然气标志”法直观指示气层实例。1、2、3、4、5、6层据“天然气标志”是气层。根据泥质指数,层2是纯砂岩气层,但是该层顶部出现非产层标记(指示非气层),在确定产气层有效厚度时应予扣除。1、3、4、5、6层是泥质砂岩气层,除了层5和6外,其他层同样存在非产层标记,应扣除非产层厚度。

地层电阻率、地层骨架密度、含水饱和度和流水孔隙度用于验证“天然气标志”法直观指示气层的可靠性。射开层2与3,测试结果,生产大量的天然气。

图4是用侵入带“天然气标志”直观指示气层实例之二。1、2、3、4、5、6层据“天然气标志”是气层。根据泥质指数,层1、3、4是泥质砂岩气层,层2与6出现非产层标记,是非产气层。

射开1、2、3、4层测试结果,生产大量的天然气。

层2是薄层,夹在层1与3之间,彼此靠得很近,所以同时射开。但在确定产气层的有效厚度时,应当扣除层2厚度。

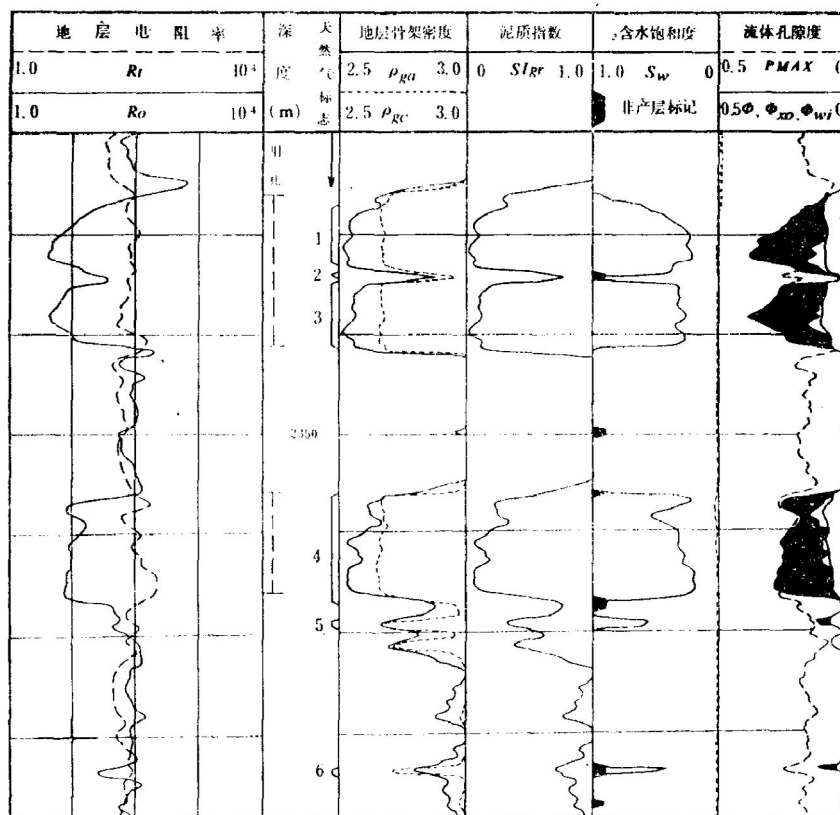


图4 侵入带“天然气标志”法应用实例之二

图5是用侵入带“天然气标志”法直观指示气层实例之三。1、2、3、4、5、6、7层据“天然气标志”是薄气层，根据泥质指数，层1至7是泥质砂岩气层。

射开1、2、3、4、5、7层测试结果，生产天然气。层6据“天然气标志”是气层，但非产层标记指示是非渗透层。该层没有射孔。

上述应用实例表明，侵入带“天然气标志”法能够直观指示气层，它与非产层标记组合使用，还能够确定产气层的有效厚度。根据图3至图5提供的气层岩石有效孔隙度、含水饱和度和产层有效厚度，可以计算气藏单位面积天然气储量。

地层电阻率、地层骨架密度、含水饱和度和流体孔隙度可用于验证侵入带“天然气标志”法直观指示气层的可靠性，从而提高了中子与密度测井解释气层的精度。

气层岩石孔隙度越高，中子挖掘效应越显著，侵入带“天然气标志”法直观指示气层的效果越好。如果气层岩石孔隙度低于10%，那么侵入带“天然气标志”法直观指示气层的可靠性将会受到限制。

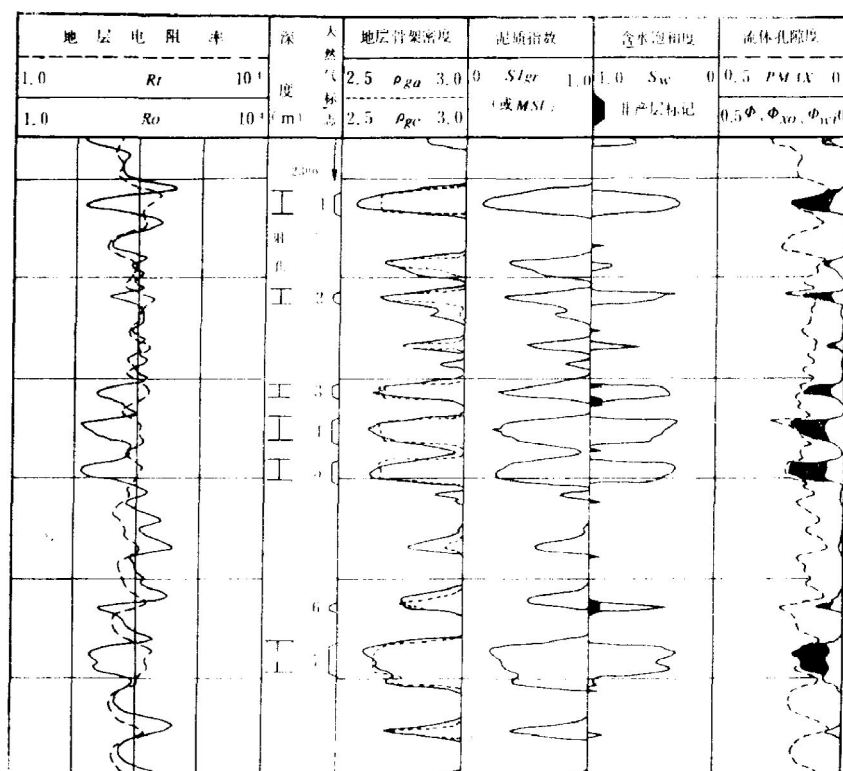


图5 侵入带“天然气标志”法应用实例之三

“GAS MARKS” INDICATING GAS RESERVOIR

Tan Tingdong Zhang Zhiwei

(Research Institute of Petroleum Exploration and
Development, Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

This paper describes the method determining “gas marks” by the data of neutron log and density log. The main formulas used in this paper are quoted from Schlumberger.