

ICS 75.010
CCS E11

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1480—2021

薄油层测井识别与计算规范

Logging identification and evaluation specification for thin oil reservoirs

2021 - 08 - 12 发布

2021 - 09 - 12 实施

陕西省市场监督管理局

发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 符号与缩略语.....	1
5 测井识别.....	4
6 薄油层参数测井计算.....	7
7 应用.....	11
附录 A（资料性） 测井响应围岩影响校正曲线图.....	12
附录 B（资料性） 常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数.....	13
附录 C（资料性） 薄油层测井识别与计算应用实例.....	14

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由陕西延长石油（集团）有限责任公司提出。

本文件由陕西省能源局归口。

本文件起草单位：陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院、西北大学、西安煤航遥感信息有限公司。

本文件主要起草人：陈义国、贺永红、马芳侠、王超、方晓君、李广涛、李晓路、许璟、王辉、段亮。

本文件由陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院

电话：029-88305310-8017

地址：陕西省西安市雁塔区唐延路61号

邮编：710065

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到5.1条与《一种三角洲前缘薄油藏识别方法》相关的专利的使用。本文件的发布机构对该专利有效性和范围无任何立场。

本文件的发布机构对有效性和该专利持有人已向本文件的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案，相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：陈义国

地址：陕西省西安市雁塔区唐延路61号延长石油科研中心

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

薄油层测井识别与计算规范

1 范围

本文件规定了鄂尔多斯盆地中生界的薄油层测井识别与储层参数测井计算方法。
本文件适用于鄂尔多斯盆地中生界的薄油层测井识别与计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

DZ/T 0217-2020 石油天然气储量估算规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1

薄油层 thin reservoirs

储层有效厚度不大于1.5 m，具有工业开采价值的油层。

4 符号与缩略语

4.1 测井资料处理计算公式中符号名称和计量单位

a_0 、 a_1 、 a_2 — 回归模型系数；

C_l — 弱纵向分辨率测井曲线测量值；

C_{li} — 弱分辨率测井曲线采样深度点*i*对应的地层“真值”；

C_e — C_{hf} 对 C_l 的回归曲线；

C_{hf} — 拟弱分辨率曲线；

C'_e — C_h 对 C_l 的回归曲线；

C_h — 强纵向分辨率测井曲线测量值；

C_{hi} — 强分辨率测井曲线采样深度点*i*对应的地层“真值”；

G — 强分辨率曲线响应函数的系数矩阵；

g_i — 仪器响应函数系数；

J — 弱分辨率曲线响应函数的系数矩阵；

j_i — 仪器响应函数系数；

R — 相关系数；

t — 滤波系数；

$(j_1, j_2, \dots, j_n)^T$ — 弱分辨率曲线响应函数的系数向量；

$(g_1, g_2, \dots, g_m)_{(2m-1) \times n}$ — 强分辨率曲线响应函数的系数向量；

$(a_1, a_2, \dots, a_k)^T$ — 滤波器的系数向量。

4.2 薄油层相关参数测井计算公式中符号名称和计量单位

AC — 薄层声波时差测井值，单位为微秒每米 ($\mu\text{s/m}$)；

a — 比例系数；

B — 黏土交换阳离子当量电导率，单位为西门子每米 (S/m)；

b — 岩电系数；

CEC — 阳离子交换能力，单位为毫摩尔每立方厘米 (mmol/cm^3)；

c — 泥质指数；

C_p — 压实校正系数；

d — 钙质指数；

e — 声波时差泥质校正系数与体积密度泥质校正系数之差；

F^* — 泥质砂岩地层因素；

GR — 薄层自然伽马曲线的测井值，单位为API；

$GCUR$ — 希尔奇指数；

GR_{\min} — 自然伽马曲线在纯砂岩处的测井值，单位为API；

GR_{\max} — 自然伽马曲线在纯泥岩处的测井值，单位为API；

I_{GR} — 自然伽马相对值；

I_{SP} — 自然电位相对值；

K — 渗透率，单位为毫达西 (mD)；

- m — 胶结指数；
 n — 饱和度指数；
 n^* — 岩石不含黏土的饱和度指数；
 Q_v — 阳离子交换容量，单位为毫摩尔每立方厘米（mmol/cm³）；
 R_{ca} — 钙质电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_{cl} — 黏土电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_{mf} — 泥浆滤液电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_{sh} — 泥质电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_t — 薄层电阻率测井值，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_w — 地层水电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_{wf} — 地层可动水电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_{wb} — 束缚水电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 R_{xo} — 冲洗带电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）；
 SP — 薄层自然电位测井值，单位为毫伏（mv）；
 SP_{min} — 自然电位在纯砂岩处的测井值，单位为毫伏（mv）；
 SP_{max} — 自然电位在纯泥岩处的测井值，单位为毫伏（mv）；
 S_{mo} — 可动油饱和度；
 S_o — 储层含油饱和度；
 S_{or} — 残余油饱和度；
 S_w — 含水饱和度；
 S_{wi} — 束缚水饱和度；
 S_{wt} — 地层总含水饱和度；
 V_{sh} — 泥质含量；
 V_{cl} — 黏土体积，单位为立方厘米（cm³）；
 V_{ca} — 钙质体积，单位为立方厘米（cm³）；
 Φ_N — 薄层含氢指数；
 Φ_{Nma} — 矿物骨架含氢指数；
 Φ_{Nf} — 储层流体含氢指数；
 ϕ — 薄层孔隙度；
 ϕ_t — 总孔隙度；
 ϕ_e — 有效孔隙度；
 ρ_b — 薄层体积密度测井值，单位为克每立方厘米（g/cm³）；
 ρ_{ma} — 骨架密度值，单位为克每立方厘米（g/cm³）；

- ρ_f — 流体密度值，单位为克每立方厘米（g/cm³）；
- ρ_G — 平均颗粒密度，单位为克每立方厘米（g/cm³）；
- Δt — 声波时差测井值，单位为微秒每米（ $\mu\text{s/m}$ ）；
- Δt_{ma} — 岩石骨架声波时差值，单位为微秒每米（ $\mu\text{s/m}$ ）；
- Δt_f — 流体声波时差值，单位为微秒每米（ $\mu\text{s/m}$ ）。

5 测井识别

5.1 测井资料处理

5.1.1 测井识别前应按以下步骤对声波时差、自然伽马、电阻率数据进行处理。

5.1.1.1 测井曲线离散化

纵向分辨率强于0.5 m的强纵向分辨率测井曲线 C_h 按式（1）离散化，纵向分辨率弱于1.5 m的弱纵向分辨率测井曲线 C_l 按式（2）离散化：

$$C_h = \sum_{i=1}^m g_i C_{hi} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_l = \sum_{i=1}^n j_i C_{li} \dots\dots\dots (2)$$

5.1.1.2 匹配滤波

按式（3）对 C_h 滤波处理，得拟弱分辨率曲线 C_{hf} ：

$$C_{hf} = f * C_h \dots\dots\dots (3)$$

$$f = F^{-1}(J/G) \dots\dots\dots (4)$$

5.1.1.3 滤波器系数向量计算

使 C_{hf} 与 C_l 匹配相同的纵向分辨率，滤波器的系数向量按式（5）矩阵求取：

- 5.2.1 采用声波时差与深感应电阻率数据绘制交会图（见图 1），确定声波时差与深感应电阻率下限值。
- 5.2.2 采用声波时差与含油饱和度数据绘制交会图（见图 2），确定含油饱和度下限值。
- 5.2.3 采用孔隙度与日产油数据绘制交会图（见图 3），确定孔隙度下限值。
- 5.2.4 采用渗透率与日产油数据绘制交会图（见图 4），确定渗透率下限值。

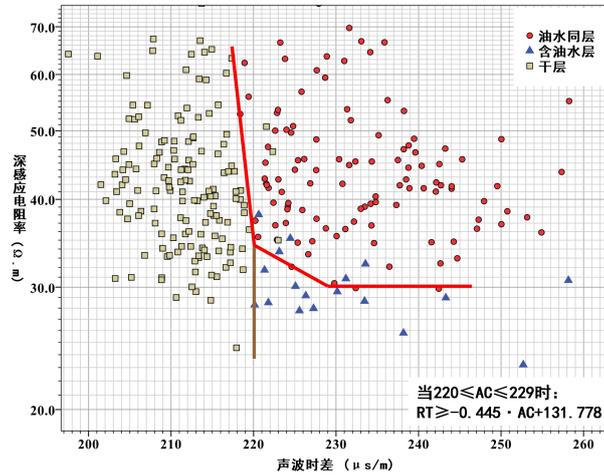


图 1 声波时差与深感应电阻率交会图

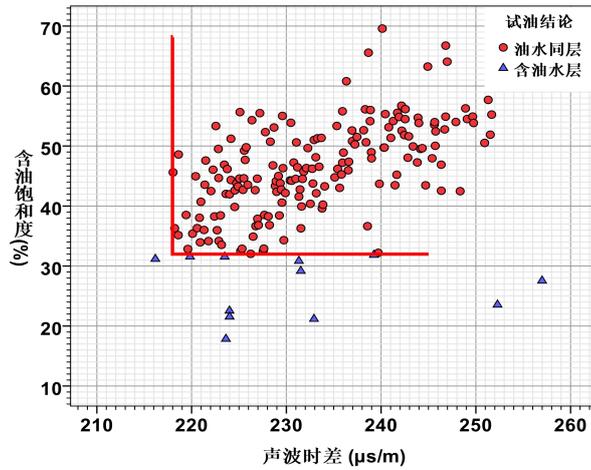


图 2 声波时差与含油饱和度交会图

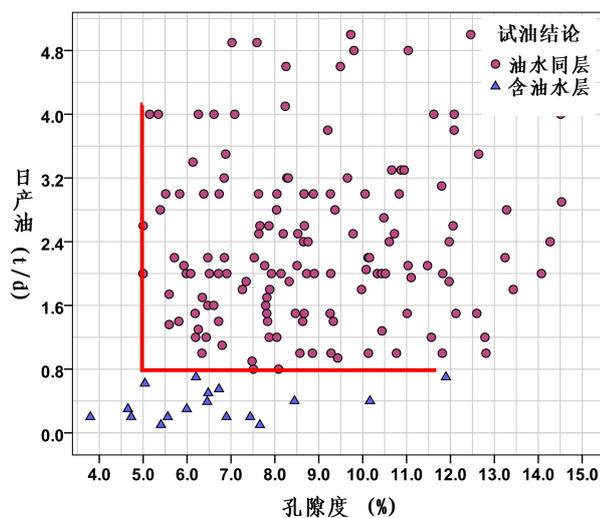


图3 有效厚度孔隙度下限图

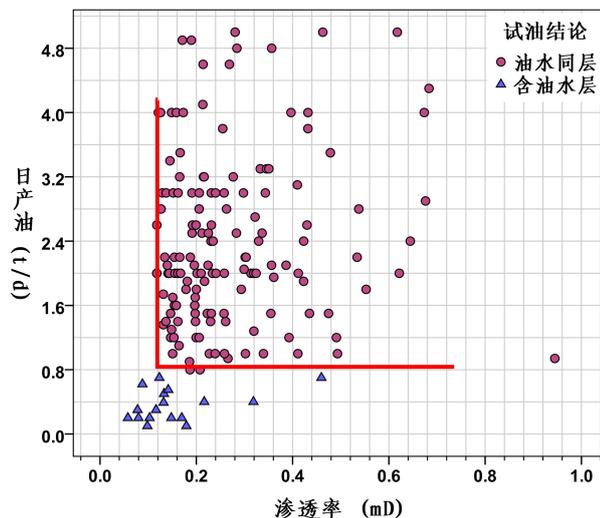


图4 有效厚度渗透率下限图

5.2.5 图版符合率应符合 DZ/T 0217—2020 第 6.2.2 条要求。

6 薄油层参数测井计算

6.1 薄层泥质含量计算

6.1.1 常规砂泥岩地层的薄层泥质含量计算

对常规砂泥岩地层，按式 (11)、(12) 计算薄层泥质含量：

$$I_{GR} = \frac{GR - GR_{\min}}{GR_{\max} - GR_{\min}} \dots\dots\dots (11)$$

$$V_{sh} = \frac{2^{G_{CUR} \cdot I_{GR}} - 1}{2^{G_{CUR}} - 1} \dots\dots\dots (12)$$

6.1.2 高放射性砂泥岩地层的薄层泥质含量计算

对高伽马砂泥岩地层，储层自然伽马普遍高于80API，利用自然电位测井值，按式（13）、（14）计算薄层泥质含量：

$$I_{SP} = \frac{SP - SP_{min}}{SP_{max} - SP_{min}} \dots\dots\dots (13)$$

$$V_{sh} = \frac{2^{G_{CUR} \cdot I_{SP}} - 1}{2^{G_{CUR}} - 1} \dots\dots\dots (14)$$

6.1.3 岩心数据回归建模计算薄层泥质含量

利用典型薄层岩心资料刻度测井资料，通过多元统计分析，建立地区高精度回归模型式（15）计算：

$$V_{sh} = f(GR, SP, AC, RT) \dots\dots\dots (15)$$

6.2 薄层孔隙度计算

6.2.1 对不发育裂缝的薄层

利用声波时差测井值，按式（16）计算薄层孔隙度：

$$\phi = \frac{1}{C_p} \cdot \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \dots\dots\dots (16)$$

常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数参见附录B。

6.2.2 对发育裂缝且含天然气的薄层

利用密度测井值，按式（17）计算薄层孔隙度：

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \dots\dots\dots (17)$$

常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数参见附录B。

6.2.3 对发育裂缝且不含天然气的薄层

利用密度测井值，按式（18）计算薄层孔隙度：

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \dots\dots\dots (18)$$

常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数参见附录B。

6.2.4 对发育裂缝且不含天然气的薄层

利用中子测井值，按式（19）计算薄层孔隙度：

$$\phi = \frac{\Phi_N - \Phi_{Nma}}{\Phi_{Nf} - \Phi_{Nma}} \dots\dots\dots (19)$$

常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数参见附录B。

6.2.5 岩心数据回归建模计算薄层孔隙度

利用薄层岩心资料刻度测井资料，通过多元数据相关分析，建立地区高精度回归模型式（20）计算：

$$\phi = f(AC, V_{sh}) \dots\dots\dots (20)$$

6.3 薄层渗透率计算

6.3.1 Timur 经验公式

对薄层岩心化验分析资料较少时，按式（21）估算薄层渗透率：

$$K = \frac{0.316 \times \phi^{4.4}}{S_{wi}^2} \dots\dots\dots (21)$$

6.3.2 岩心数据回归建模计算薄层渗透率

利用典型薄层岩心资料刻度测井资料，通过多元统计分析，建立地区高精度回归模型式（22）计算：

$$K = f(\phi, V_{sh}) \dots\dots\dots (22)$$

6.4 薄层含水饱和度计算

6.4.1 泥质含量低于15%的砂岩薄层含水饱和度计算

对于泥质含量低于15%的砂岩薄层，按式（23）计算含水饱和度：

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a \cdot b \cdot R_w}{\phi^m \cdot R_t}} \dots\dots\dots (23)$$

6.4.2 泥质含量高于15%的泥质砂岩薄层含水饱和度计算

6.4.2.1 泥质均匀分布的泥质砂岩薄层含水饱和度计算

黏土均匀分布的泥质砂岩薄层，按式（24）计算含水饱和度：

$$\frac{1}{R_t} = \frac{V_{cl}}{R_{cl}} \cdot S_w + \frac{\phi^m}{a \cdot R_w} \cdot S_w^2 \dots\dots\dots (24)$$

6.4.2.2 泥质层状分布的泥质砂岩薄层含水饱和度计算

黏土呈层状分布的泥质砂岩薄层，按式（25）计算含水饱和度：

$$S_w = \frac{1}{\phi} \left[\sqrt{\frac{R_w}{R_t} + \left(\frac{e \cdot V_{cl}}{2} \right)^2} - \frac{e \cdot V_{cl}}{2} \right] \dots\dots\dots (25)$$

6.4.2.3 富含单一导电性黏土的泥质砂岩薄层含水饱和度计算

富含蒙皂石等单一导电性黏土的泥质砂岩薄层，按式（26）、（27）计算含水饱和度：

$$S_w^{(-n^*)} = \frac{R_t}{F^* \cdot R_w} \left(1 + \frac{B \cdot Q_v \cdot R_w}{S_w} \right) \dots\dots\dots (26)$$

$$Q_v = CEC(1 - \phi_t) \cdot \frac{\rho_G}{\phi_t} \dots\dots\dots (27)$$

6.4.2.4 富含多种导电性黏土的泥质砂岩薄层含水饱和度计算

富含蒙皂石、绿泥石、伊利石等多种导电性黏土的泥质砂岩薄层，泥质阳离子交换能力难以准确确定，认为泥质砂岩导电性是黏土束缚水与孔隙自由水并联的结果，按式（28）、（29）计算含水饱和度：

$$S_{wt} = y + \left(\frac{R_{wf}}{R_t \cdot \phi_t^2} + y^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots (28)$$

$$y = \frac{S_{wi}(R_{wb} - R_{wf})}{2R_{wb}} \dots\dots\dots (29)$$

6.4.2.5 复杂岩性薄层含水饱和度计算

含多种黏土及钙质的复杂岩性薄层，按式（30）、（31）、（32）计算含水饱和度：

$$\frac{1}{S_w^n} = \left(\frac{V_{sh}^c}{R_{sh}} - \frac{V_{ca}^d}{R_{ca}} + \frac{\phi_e}{\sqrt{a \cdot R_w}} \right)^2 \cdot R_t \dots\dots\dots (30)$$

$$c = 1 - \frac{V_{sh}}{2} \dots\dots\dots (31)$$

$$d = 1 - \frac{V_{ca}}{2} \dots\dots\dots (32)$$

6.5 薄层含油饱和度计算

已知含水饱和度时，按式（33）计算薄层含油饱和度：

$$S_o = 1 - S_w \dots\dots\dots (33)$$

6.6 薄层残余油饱和度计算

按式（34）计算薄层残余油饱和度：

$$S_{or} = 1 - \sqrt[n]{\frac{a \cdot b \cdot R_{mf}}{\phi^m \cdot R_{xo}}} \dots\dots\dots (34)$$

6.7 薄层可动油饱和度计算

已知含油饱和度及残余油饱和度时，按式（35）计算薄层可动油饱和度：

$$S_{mo} = S_o - S_{or} \dots\dots\dots (35)$$

7 应用

薄油层测井识别与计算应用实例见附录C。

附录 A
 (资料性)
 测井响应围岩影响校正曲线图

A.1 测井响应围岩影响校正曲线见图A.1

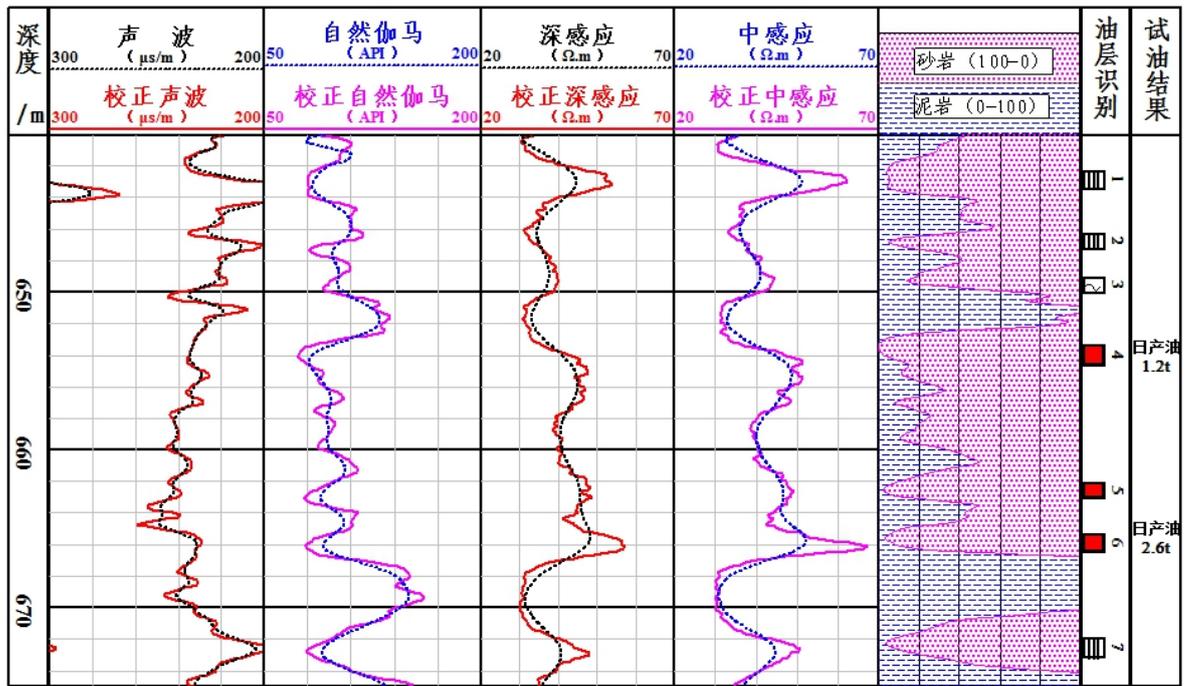


图 A.1 CH46 井测井响应围岩影响校正曲线图

附 录 B

(资料性)

常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数

B.1 常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数见表B.1

表 B.1 常见岩石的骨架参数及孔隙流体参数

类别	声波时差		体积密度 g/cm ³	补偿中子
	μs/m	μs/ft		
砂岩骨架	182.0	55.5	2.65	-0.05
淡水钻井液	620.0	189.0	1.00	1.00
盐水钻井液	608.0	185.0	1.10	1.00

附录 C

(资料性)

薄油层测井识别与计算应用实例

C.1 薄油层测井识别与计算应用实例见图C.1

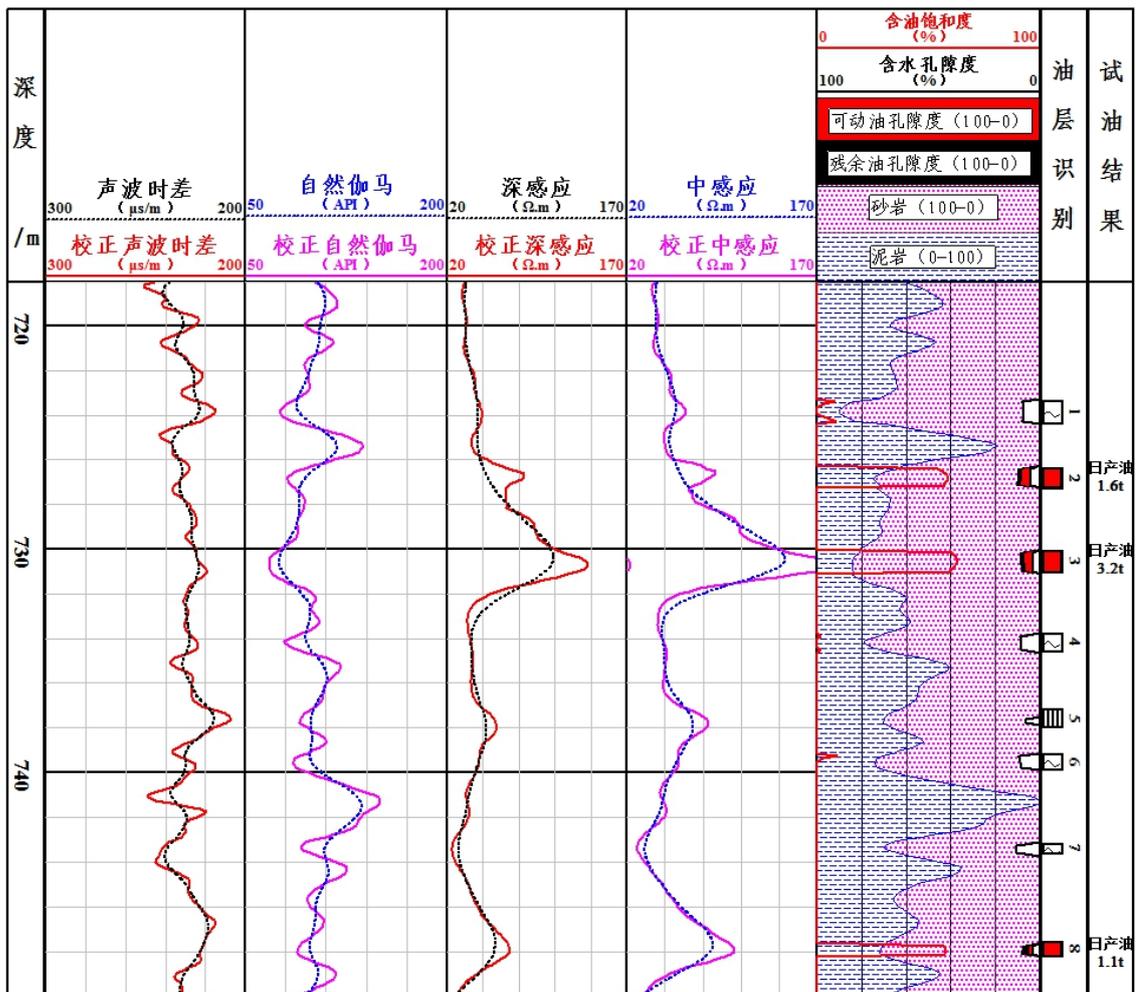


图 C.1 薄油层测井识别与计算应用实例