

文章编号: 1001-6112(2006)06-0595-05

# 利用测井资料精细评价特低渗透储层的方法

宋子齐, 程国建, 杨立雷, 于小龙, 赵宏宇

(西安石油大学, 西安 710065)

**摘要:**鄂尔多斯盆地 BB 油田长 3、长 4+5 特低渗透储层测井中泥浆滤液对地层侵入作用弱, 直观指示油气层和水层的微电极及深、中、浅电阻率的有序排列基本消失, 储层中发育的微裂缝还造成井眼的不规则扩径等, 导致测井响应中来自油气的成分少, 有生产能力的低孔隙度储层与无效层段之间差异很小。通过确定特低渗透储层有效厚度下限, 将地层电阻率作为地质背景条件, 分析岩性和电性特征及其相应的统计标准, 充分利用测井资料分析、识别影响特低渗透储层参数变化特征及有效油气成分。并采用测井与地质及试油等资料综合对比研究, 分析储层中不同岩性的钙质、泥质夹层的定量统计、扣除方法及其对测井曲线造成的背景值影响, 特别是利用微电极电阻率测井曲线的幅度、差异及其性质, 精细评价和划分了特低渗透储层, 有效提高了该区目的层段特低渗透储层测井解释和有利区预测精度, 为该区特低渗透油田增储上产提供了可靠依据。

**关键词:**测井响应; 微电极测井曲线; 精细评价; 油气成分; 钙质、泥质夹层; 特低渗透储层; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** TE122.2

**文献标识码:** A

BB 油田长 3、长 4+5 油藏位于鄂尔多斯盆地的陕北斜坡中部, 为一平缓的西倾单斜构造(倾角仅  $0.5^\circ$  左右), 断层和褶皱不发育。该区长 3、长 4+5 油层主要为三角洲前缘相沉积, 发育水下分流河道及其河道叠置型河口坝微相, 储层受沉积环境、成岩作用、构造等因素影响, 具有孔隙度低、渗透率低、油层薄、非均质性强等特点, 属典型的特低渗透非均质油藏。区内储层微观孔隙类型多样, 结构复杂, 残余粒间孔、溶孔及微孔的不同组合交织搭配, 储集性能相差悬殊。在宏观物性上则表现为孔隙度、渗透率分布范围宽, 孔渗关系复杂, 高孔低渗、低孔高渗、低孔低渗并存, 流动层带复杂<sup>[1,2]</sup>。特别是该区特低渗透储层泥浆对地层侵入作用弱, 泥饼难以形成, 微电极电阻率曲线在渗透层上的正幅度差异不明显; 直观指示油气层和水层的深、中、浅电阻率在常规储层的有序排列基本消失; 发育在储层中的微裂缝呈现不规则扩径使测井曲线背景值失真。其综合效应反映出测井响应来自油气的成分少, 有生产能力的低孔隙度储层与无效层段之间差异很小。因此, 有必要利用声波时差、电阻率、密度、中子、自然电位、自然伽马及微电极幅度和差异等多种测井曲线特征, 研究精细评价特低渗透储层的方法<sup>[3,4]</sup>。

## 1 利用测井资料建立评价特低渗透储层有效厚度的下限标准

该区特低渗透储层有效厚度电性下限标准, 分

别采用长 3、长 4+5 的试油层点及其对应的测井声波时差与深感应电阻率交会求得。图 1 是采用该区长 3 层 15 口井 40 多个试油层点制作的电阻率( $R_t$ )与声波时差( $\Delta t$ )交会图。当  $224 \mu\text{s}/\text{m} \leq \Delta t \leq 230 \mu\text{s}/\text{m}$  时,  $R_t \geq -2 \Delta t + 473.4$ ; 当  $\Delta t > 230 \mu\text{s}/\text{m}$ ,  $R_t \geq 15 \Omega \cdot \text{m}$ 。可以看出, 该区特低渗透储层中油层、油水层电阻率  $R_t$  分布范围宽, 可以作为圈定油层有效厚度的地质背景。密度( $\rho_b$ )、中子( $\phi_N$ )测井有效厚度下限值采用试油层统计平均值求得:  $\rho_b \leq 2.50 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,  $\phi_N \geq 1.70\%$ 。

对于长 3、长 4+5 油藏含油性下限, 采用试油段有取心的井, 统计其岩心的含油产状, 得到含油

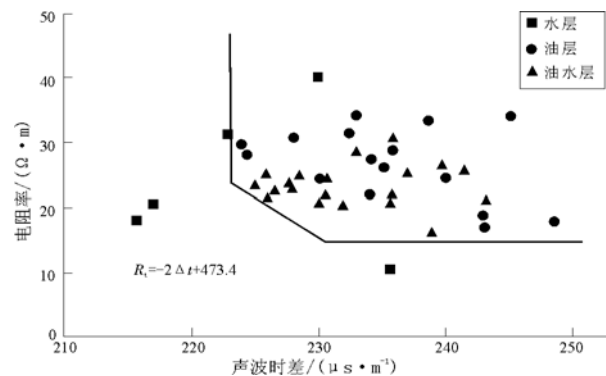


图 1 鄂尔多斯盆地 BB 油田长 3 储层声波时差( $\Delta t$ )与电阻率( $R_t$ )关系

Fig. 1 Relationship between interval transit time ( $\Delta t$ ) and resistivity ( $R_t$ ) of reservoir Chang<sup>3</sup> in the BB Oil Field, the Ordos Basin

收稿日期: 2006-10-11。

作者简介: 宋子齐(1944—), 男(汉族), 重庆人, 教授, 主要从事油气储层、测井解释及油藏剩余油分布教学与研究工作。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572082)。

性有效厚度下限标准为油斑级。对于岩性的含油性标准,则建立岩性与试油结果的统计直方图,确定该区长 3、长 4+5 储层岩性有效厚度下限标准为细砂岩级。同时,确定长 3、长 4+5 油层有效厚度起算下限为 0.4 m,夹层起扣下限为 0.2 m。

根据该区低渗透储层有效厚度下限研究,建立起长 3、长 4+5 油层(包含油水层)有效厚度下限标准(表 1),作为配合微电极测井曲线精细评价特低渗透储层的重要基础和依据<sup>[5,6]</sup>。

## 2 利用测井资料精细评价识别特低渗透储层有效厚度中的夹层

该区长 3、长 4+5 油层组夹层在各目的层段内部都有发育,夹层岩性主要为胶结致密的钙质细粉砂岩、钙质泥岩或深灰色、灰色泥质、粉砂质泥岩等,局部层理结构发育也可以形成夹层。

通过该区 28 口井长 3、长 4+5 层段的 44 个钙质、泥质夹层测井曲线统计分析,分别制作夹层类型蛛网图模式,以其自然伽马(GR)曲线反映地层泥质含量多少来区分钙质、泥质夹层;自然电位减小系数( $\alpha$ )则以定量计算地层泥质含量和估算渗透性来识别钙质、泥质夹层;声波时差( $\Delta t$ )以确定地层岩性特点来区分钙质、泥质夹层;微电极(微电位电阻率  $R_{mn}$ 、微梯度电阻率  $R_{ml}$ )以其幅度、幅度差及其差异性来分析钙质、泥质夹层(图 2)。

图 3 为该区长 3<sub>3</sub> 夹层测井曲线组合特征,图中 2 类夹层(钙质和泥质夹层)的评价识别采用测井曲线定量统计分析确定。钙质夹层一般含有胶结致密的钙质细粉砂岩和钙质泥岩等,它与上下岩石相比,声波时差和中子小而密度大,反映孔隙度、渗透率低。其自然电位、自然伽马曲线减小很大。微电极曲线幅度则较高,因伴随不同泥饼厚度变小

表 1 鄂尔多斯盆地 BB 油田长 3、长 4+5 油层(包含油水层)有效厚度下限标准

Table 1 Low limit of effective thickness of oil reservoir Chang3 and Chang4+5(including oil and water formations) in the BB Oil Field, the Ordos Basin

层组	孔隙度, %	密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	中子, %	声波时差/ $(\mu s \cdot m^{-1})$ 与电阻率/ $(\Omega \cdot m)$	岩性	含油性	油层起算 下限/m	夹层起扣 下限/m
长 3	>10	$\leq 2.50$	$\geq 17.0$	$\Delta t > 230, R_t \geq 15;$ $224 \leq \Delta t \leq 230, R_t \geq -2\Delta t + 473.4$	细砂岩级	油斑级	0.4	0.2
长 4+5	>9	$\leq 2.55$	$\geq 16.5$	$\Delta t > 248, R_t \geq 6.5;$ $226 \leq \Delta t \leq 248, R_t \geq -0.77\Delta t + 198.4$	细砂岩级	油斑级	0.4	0.2

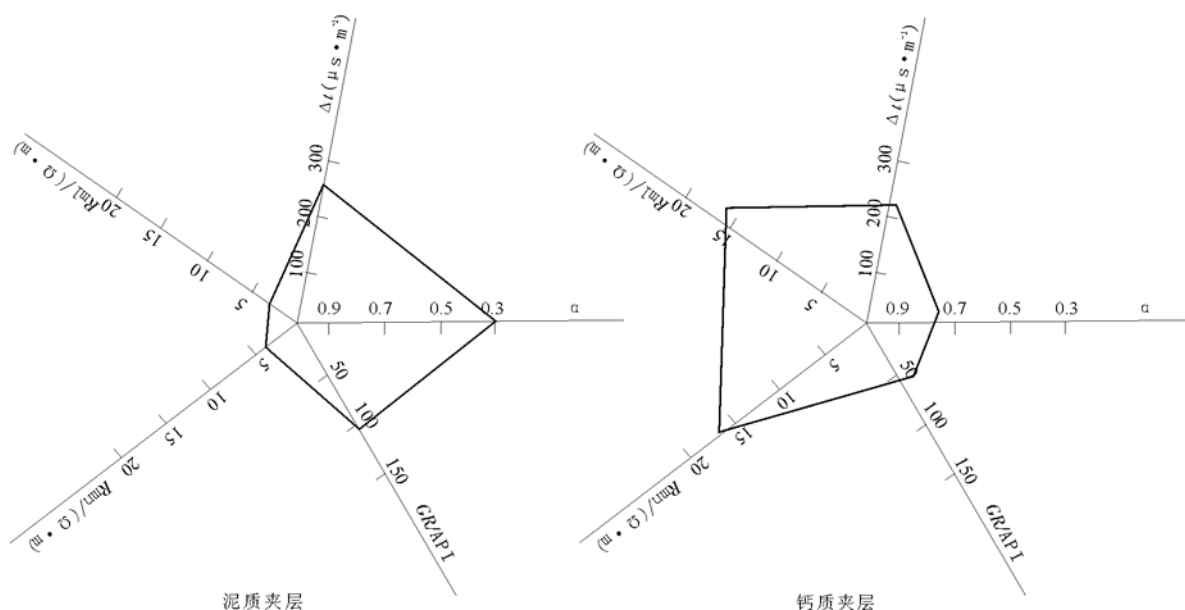


图 2 鄂尔多斯盆地 BB 油田长 3、长 4+5 层段夹层类型蛛网图

Fig. 2 Spider diagram of interbed types in reservoir Chang3 and Chang4+5 in the BB Oil Field, the Ordos Basin

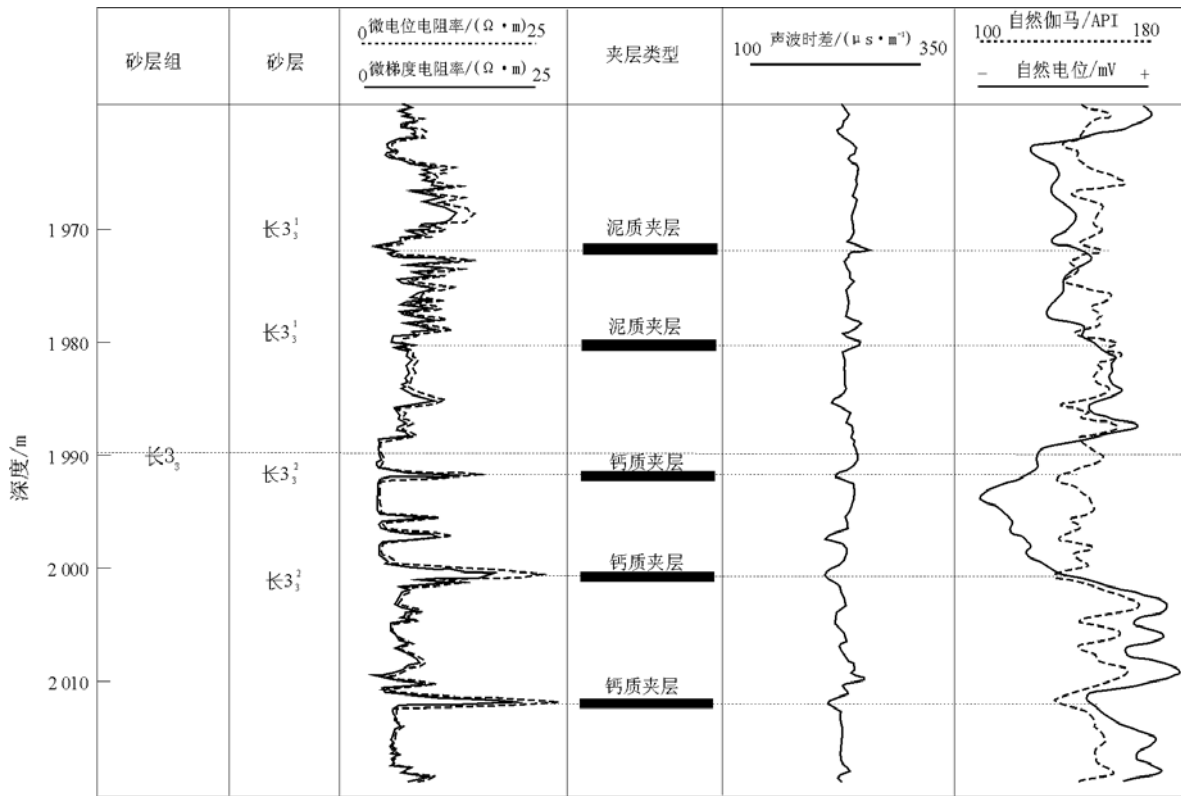


图 3 鄂尔多斯盆地 BB 油田某井特低渗透长 3 夹层典型测井曲线组合特征  
Fig. 3 Typical well logging curves of the extra-low permeability Chang3 interbed in the BB Oil Field, the Ordos Basin

或消失,微电极差异变化大,呈一定幅度正差异,有的则变为负差异。泥质夹层则以泥质为主,常因伴随不同程度扩径,声波时差和中子增大而密度变小,反映有效孔隙度、渗透率低;其自然电位、自然伽马曲线呈相对高值;微电极曲线幅度低,正差异不明显。图中 2 类夹层都显示出各自的岩性和电性特点,特别是微电位曲线幅度、差异大小,都有典型特征。

### 3 利用测井资料精细评价特低渗透储层

在该区特低渗透储层钻井过程中,泥浆柱压力略大于地层压力,其压力差驱使泥浆滤液向渗透性较好的砂岩处渗透,在井壁附近形成泥饼和冲洗带,其泥饼厚度一般为 3~30 mm,电阻率约为泥浆电阻率的 1~3 倍;泥浆冲洗带厚度为 100~150 mm,电阻率约为泥饼电阻率的 5 倍以上<sup>[7,8]</sup>。因此,在砂层渗透性相对较好并形成泥饼时,主要反映冲洗带电阻率  $R_{so}$  的微电位  $R_{mn}$  读数大于主要反映泥饼电阻率  $R_{mc}$  的微梯度  $R_{ml}$  读数,微电极曲线呈现  $R_{mn} > R_{ml}$  正差异,读数较低;而当砂层渗透

性差且泥浆侵入不足以形成泥饼时(侵入量太小),极板直接贴在井壁上,由于泥浆增阻侵或无侵,造成微梯度  $R_{ml}$  读数大于或等于探测较深的微电位  $R_{mn}$  读数,微电极曲线呈现  $R_{ml} > R_{mn}$  的负差异或重合,且读数较大。

图 4 为该区特低渗透长 4+5 储层 1 976.0~1 996.0 m 评价成果,顶部砂层 1 976.0~1 977.5 m 深度第 46 层段,微电极负差异,且数值较高;加之自然电位减小幅度低、自然伽马幅度高和深、中、浅探测电阻率基本重合,反映储层渗透性很差,岩性粒度很细,综合解释为致密油层。砂体中部 1 978.0~1 980.5 m 和 1 982.5~1 984.0 m 第 47,48 层段,微电极正差异,且数值低;加之自然电位减小幅度大、自然伽马幅度较低,深、中探测电阻率较低,八侧向升高,呈现明显负幅度差,中子、密度、声波测井孔隙度大,总体反映渗透性较好,综合解释为低阻油层。砂体下部 1 986.0~1 988.0 m 和 1 988.5~1 996.5 m 第 49,50 层段,微电极负差异或重合,且数值增高,自然电位减小幅度不大,深、中探测电阻率幅度低,八侧向亦有升高(负幅度差),但幅度差变化大,总体反映渗透性一般(稍有降低),综合解释为低阻油层。

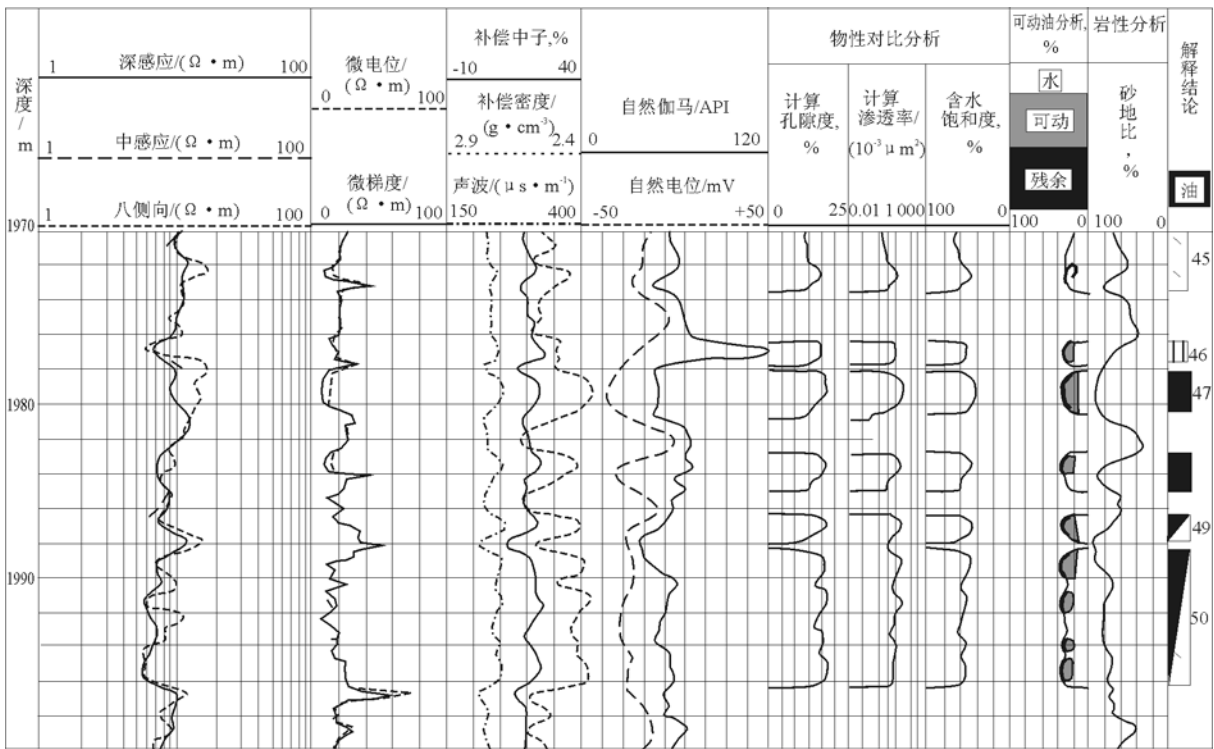


图 4 鄂尔多斯盆地 BB 油田某井特低渗透长 4+5 储层测井评价成果

Fig. 4 Well logging results of the extra-low permeability Chang4+5 reservoir in some well in the BB Oil Field, the Ordos Basin

### 4 结论

根据上述测井资料建立评价特低渗透储层有效厚度下限标准,结合测井资料识别特低渗透储层有效厚度中的夹层研究,利用测井资料精细评价特低渗透储层,对该区 87 口井长 3、长 4+5 油藏进行精细评价处理,已在该区特低渗透长 3、长 4+5 层段划分出有利沉积砂体及相应层间钙质和泥质夹层,评价解释和划出砂层 4 700 m,渗砂层 3 245 m,油层有效厚度 824 m,其主要油层段评价解释与相应试油情况相对比趋于吻合。从而,针对特低渗透储层测井评价中的主要问题作出以下结论:

1)特低渗透储层测井中泥浆滤液对地层侵入作用弱,泥饼难于形成,微电极电阻率曲线在渗透层上的正差异不明显或消失,并且在特低渗透层呈现负差异。因此,在识别特低渗透油气储层、剔除夹层分析中,不单要研究微电极  $R_{mn}$ ,  $R_{ml}$  曲线幅度,还要分析其差异及其性质。

2)通过研究特低渗透储层中钙质、泥质夹层的统计标准,充分考虑储层中不同岩性夹层的扣除界限及其对测井曲线造成的背景值影响,利用微电极、密度、中子、声波时差、自然电位、自然伽马测井曲线的定量统计,建立剔除不同类型夹层的方法,

特别着重研究利用了微电极  $R_{mn}$ ,  $R_{ml}$  曲线幅度、差异及其性质。

3)特低渗透储层测井中直观指示油气层和水层的深、中、浅电阻率的有序排列基本消失,特别是低渗、低阻油层泥浆增阻侵入,八侧向升高造成负幅度差,加之低渗储层测井中普遍发育的微裂缝,可使钻井井眼呈不规则扩径,不同程度影响测井曲线质量,小的分析误差就可能导致错误的结论。我们在确定特低渗透油层有效厚度时,把地层电阻率  $R_t$  放在低阻储层背景上加以研究,并利用密度、中子、声波时差和微电极等多种测井曲线,结合岩心分析、地质及试油等资料综合对比,分析、识别影响特低渗透储层参数变化特征和有效油气成分,以及目的层段钙质和泥质夹层的定量统计分析,建立一种新的特低渗透油层有效厚度的岩性、物性、电性下限和夹层扣除标准及方法,有效克服了单一测井曲线测量和分析中带来的误差,提高了该区目的层段特低渗透储层测井解释和有利区预测精度,为该区特低渗透油田增储上产提供了可靠依据。

#### 参考文献:

- 1 宋子齐,白振强,陈荣环等. 陕北斜坡东部低渗透储集层有利沉积相带[J]. 新疆石油地质,2004,25(6):588~591
- 2 宋子齐,刘青莲,陈荣环等. 灰色系统评价特低渗油藏的方法研

- 究及应用[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 1~3
- 3 宋子齐. 测井多参数的地质应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1993. 100~130
- 4 Aguilera R, Aguilera S M. The integration of capillary pressure and pickett plots for determination of flow units and reservoir containers[R]. SPE71725, 2001: 1~13
- 5 宋子齐, 李亚玲, 潘玲黎等. 测井资料在小洼油田盖层评价中的应用[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 4~6
- 6 王瑞飞, 宋子齐, 尤小健等. 流动单元划分及其在地质中的应用[J]. 测井技术, 2003, 27(6): 481~485
- 7 高兴军, 宋子齐, 程仲平等. 影响砂岩油藏水驱开发效果的综合评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 68~69
- 8 宋子齐, 王浩, 赵磊等. 灰色系统储盖组合精细评价的分析方法[J]. 石油学报, 2002, 23(4): 37~41

## A METHOD FOR FINE EVALUATION IN EXTRA-LOW PERMEABILITY RESERVOIRS USING LOGGING DATA

Song Ziqi, Cheng Guojian, Yang Lilei, Yu Xiaolong, Zhao Hongyu

(Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

**Abstract:** Mud filtrate intrusion is weak in the extra-low permeability reservoirs Chang3 and Chang 4+5 in the BB Oil Filed, the Ordos Basin. The ordered arrangements of ML and DIL-MSFL which intuitively indicate hydrocarbon reservoir and water zone disappear. Micro-fractures in reservoir lead to the irregular enlargement of holes; hence the oil/gas composition has a smaller part in logging response. The difference is small between the productive low permeability reservoirs and the inefficient ones. Establishing the lowest limit of effective thickness, taking the formation resistivity as the geologic background, analyzing the core electrical characteristics and the relevant statistic criterion, the figure and effective oil/gas composition which affect the parameter variation in extra-low permeability reservoirs are identified by taking full advantage of logging data. Synthetically comparing the logging, geologic and oil-testing data, studying the ration statistics, deduction method and figure affection to log curves of calcic, argillan interbeds in reservoirs with different lithologic characteristics, with the latitude, difference and characteristics of ML log curves, the extra-low permeability reservoirs are finely evaluated and classified. The log interpretation and potential range prediction accuracy have been improved, providing dependable criteria for reservoir enlargement and outcome improvement in extra-low permeability oil fields.

**Key words:** logging response; ML logging curve; fine evaluation; oil/gas composition; calcic and argilan interbeds; extra-low permeability; the Ordos Basin