

# Rapid Identification of Fluid in Low Porosity Low Permeability Reservoir by Combined Well Logging and Mud Logging

Shusheng Guo, Yongde Gao, Ming Chen, Benqiang Sun, Zhikai Zhang

CNOOC (China) Co., Ltd., Zhanjiang Branch, Zhanjiang Guangdong  
Email: guoshusheng@cnooc.com.cn

Received: May 30<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jun. 7<sup>th</sup>, 2017; published: Aug. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The reservoirs with low porosity and low permeability are poor in physical properties and complex in pore structure, so different fluids in this kind of reservoir have similar physical and petrophysical properties, making it difficult to tell oil, gas and water layers from each other. Therefore, previous interpretation charts and methods cannot fully satisfy the well logging demand. Crossplot of three algorithms by using well logging and mud logging data has been developed to identify fluid properties and fluid type. This technology has solved the identification of oil and gas layers with low porosity and low permeability, a difficult problem in conventional well logging, and improved the accuracy and effectiveness of identification of hydrocarbon and nonhydrocarbon fluids in complex reservoirs. Comparison of identification results of 30 intervals with pressure sampling and oil test results prove that the method has a good application effect. The technology provides technical support for the in-depth exploration of low-grade oil and gas layers.

## Keywords

Low Porosity and Low Permeability Reservoir, Fluid Properties, Mud Logging Data, Well Logging Data

---

# 测录井结合快速识别低孔渗储层流体技术

郭书生, 高永德, 陈 鸣, 孙本强, 张智凯

中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江

作者简介: 郭书生(1975-), 男, 高级工程师, 现主要从事测井、录井现场技术管理及研究工作。

Email: guoshusheng@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年5月30日; 录用日期: 2017年6月7日; 发布日期: 2017年8月15日

## 摘 要

低孔、低渗储层物性差, 孔隙结构复杂, 不同的流体性质具有相似的物性、电性特征, 增加了油气水层判别难度, 以往的解释图版和解释方法已经不能完全满足测井解释的需求。测录井技术综合运用, 通过由三种算法组成的交会图技术来识别流体性质及流体类型, 解决了常规测井对低孔、低渗储层油气层识别的技术难题, 提高了复杂储层烃类、非烃类流体的优快识别准确率和效果。最后, 通过30个层段的识别结果与测压取样、试油结果对比, 验证了该方法具有较好的应用效果。该技术的运用为低品位油气层勘探开发纵深发展提供技术保障。

## 关键词

低孔低渗储层, 流体性质, 录井资料, 测井资料

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着南海西部海域构造圈闭、岩性圈闭勘探开发的不断深入, 其目标区逐渐转移至由岩性因素起主导作用的低孔渗砂岩油气藏。但目前尚未形成一套快速识别低孔渗砂岩油气藏的有效的方法及理论依据, 尤其在低孔渗透砂岩油气藏的流体识别技术还十分欠缺。鉴于低孔渗砂岩油气藏形成的地质条件和分布规律具有复杂性和隐蔽性两个显著特点, 其规律性认识难、勘探开发难度大[1] [2]。为适应新形势需要, 须及时对已发现的低孔渗油气藏进行仔细分析和总结, 掌握低孔渗油气藏的分布规律, 确定适合于南海西部海域低孔渗砂岩油气藏识别方法和技术, 优选勘探开发目标, 为低孔渗油气圈闭的勘探开发提供理论依据、技术和方法, 建立适合南海西部海域低渗透油气藏流体的测录井识别和评价技术。

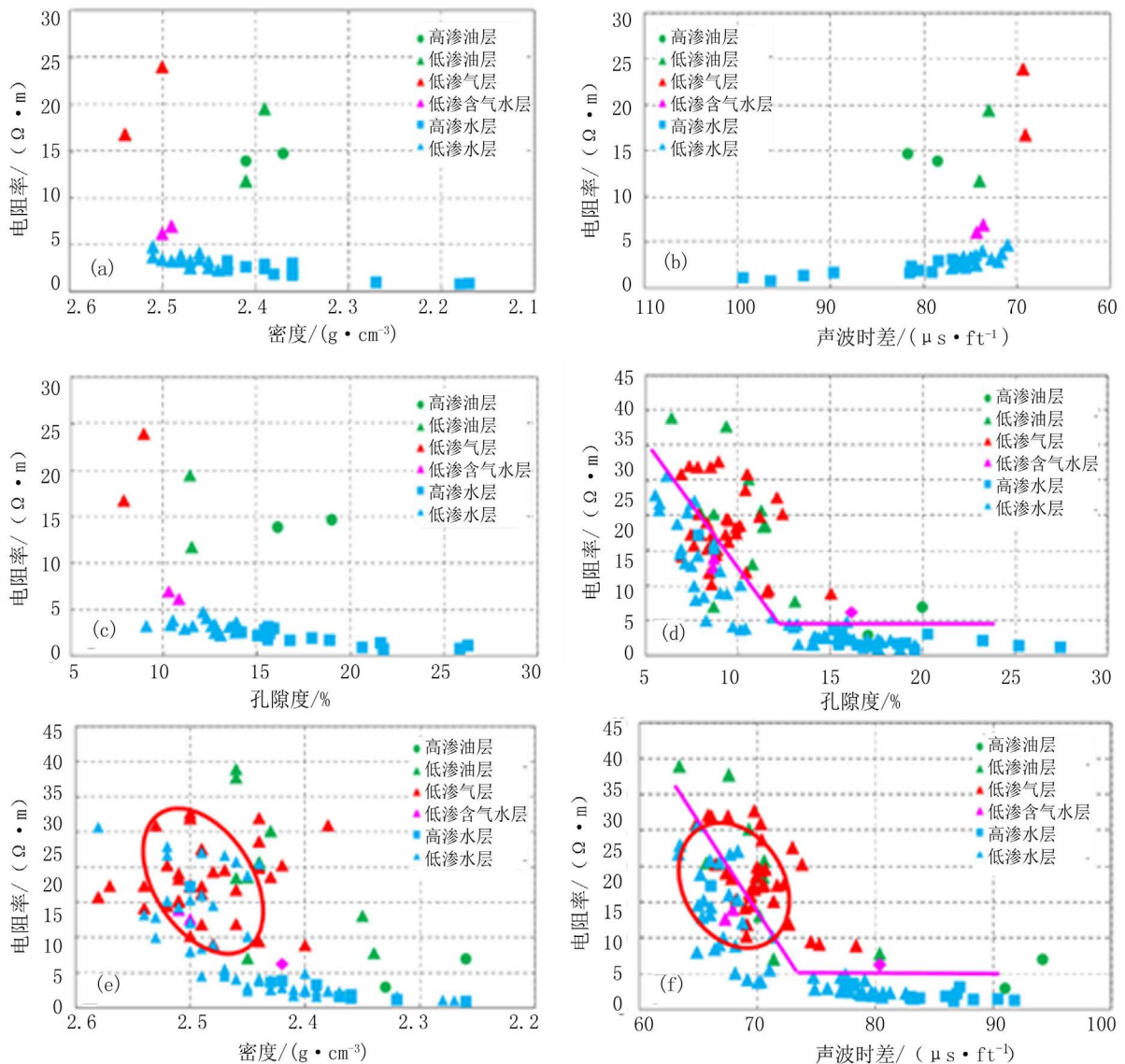
## 2. 低孔渗储层流体性质识别方法

致密砂岩油气藏储层利用常规测井方法难以对孔隙结构进行有效评价; 岩石骨架的测井响应特征远远大于流体的贡献, 电阻值的高低受储层岩性及物性的双重影响, 给油气水层评价带来了难度; 相似的物性、电性特征, 储层内的流体有很大差异, 一定程度上制约了对致密砂岩储层的勘探开发[3] [4]。因此寻求新的油气层识别技术成为急需解决的问题。

目前为止南海西部海域已发现了众多的低渗砂岩油气藏,近年来最为典型的是在 YZ 区 XY 组和 XZ 区 SG 组。这些低孔、低渗透砂岩油气藏的流体识别问题一直是勘探开发中的难题。油气层识别与评价是测井解释过程中最难把握的技术之一,同时也是测井解释的核心[5]。

## 2.1. 利用测井资料识别地层流体性质

测井资料交会图是常用的直观显示地层含油性的交会图版,该图版综合应用电性和物性特征来反映地层含油性信息。通常在纯砂岩条件下,能够很好地反映含油性和物性的变化规律[6][7](图 1)。利用现有的测井资料,结合相关的 DST 测试和电缆地层测试分析结果以及相关的地质资料分地区分层位研究了相关的流体识别图版。



注: (a) XY 组一段密度与电阻率交会图; (b) XY 组一段声波时差与电阻率交会图; (c) XY 组一段孔隙度与电阻率交会图; (d) XY 组二段孔隙度与电阻率交会图; (e) XY 组二段密度与电阻率交会图; (f) XY 组二段声波时差与电阻率交会图。

Figure 1. Identification of fluid properties by logging data

图 1. 测井资料识别流体性质识别图版

图 1(a)~(f)为 XY 组一段和 XY 组二段储层流体性质识别图版。可以看出,目的层段不同流体性质的分区很明显;由图 1(e)和图 1(f)可见,密度、声波时差测井值与电阻率交会图对气层的敏感性不高,这是由于低孔渗地层中,测井响应值主要受岩石骨架的影响,而储层的流体性质的响应特征较弱,油气层与水层之间存在很大一个模糊区域,因此,仅利用测井资料不能够快速准确地识别地层流体性质。

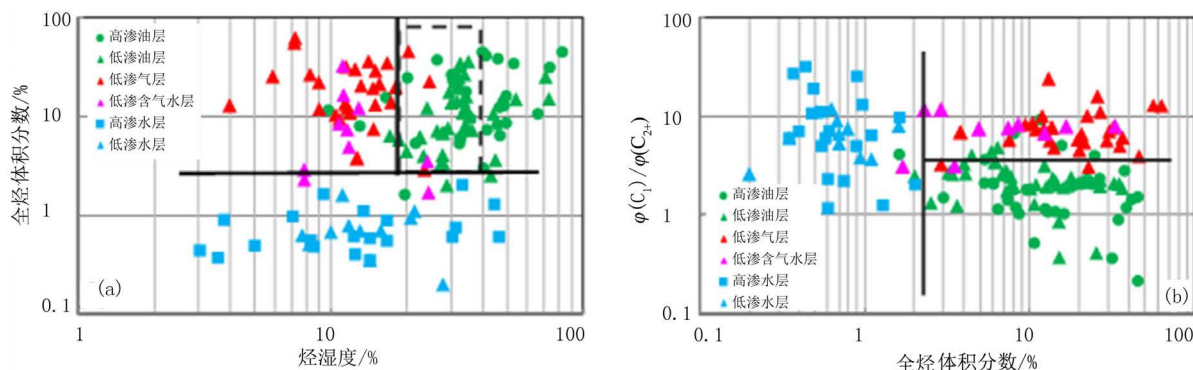
## 2.2. 利用录井资料识别地层流体性质

录井气测反映地下钻井破碎岩石中烃类的体积分数,气测值得高低在一定条件下反映了地层的含烃丰度。但在低孔渗储层中,由于储层可动孔隙度低,有效储集空间中的烃类组分相对较低,单一利用录井气测技术难以像常规储层那样快速识别出流体性质。

图 2(a)为油、气和气层的全烃体积分数与烃湿度交会图,从图中可以看出,油气层与水层在全烃体积分数的坐标轴上有一明显的分界线,而气层的烃湿度值则明显小于油层,可以把这三种流体的类型识别出来。图 2(a)和图 2(b)中的三种流体类型的样本点来自 XZ 与 YZ 地区(YZ 区主要为气层、而 XZ 区则缺乏气层样本点)。

图 2(b)为全烃体积分数与  $C_1/C_{2+}$  体积分数比值交会图,从图中可以发现油、气层的  $C_1/C_{2+}$  体积分数比值具有明显的分界线,可以较好地地区分这两种流体类型。

但是,从图 2(a)和图 2(b)可见,含气水层的气测特征值与气层的相当,没有清晰的界限。



注: (a) 全烃体积分数与烃湿度交会图; (b) 全烃体积分数与  $C_1/C_{2+}$  体积分数比值交会图。

Figure 2. Identification of fluid properties by mud logging data

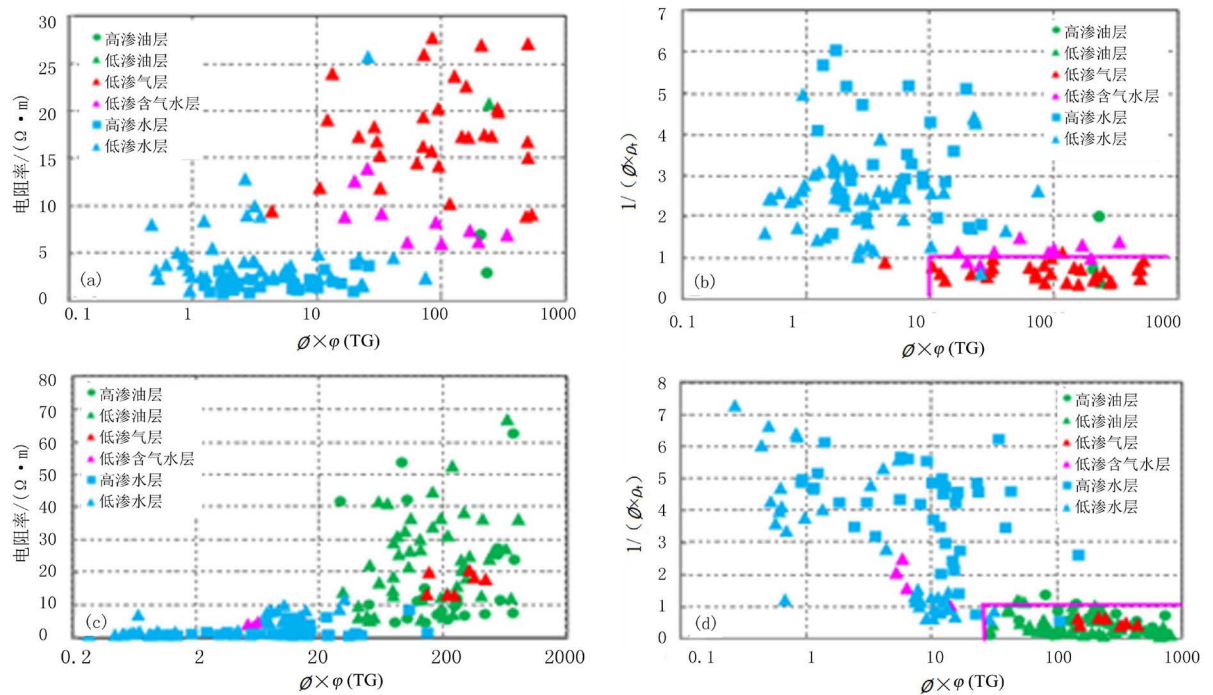
图 2. 录井资料识别流体性质识别图版

## 2.3. 录井与测井资料结合识别地层流体性质

低孔低渗储层受泥浆的侵入、岩性、地层水矿化度、孔隙结构特征等因素的影响[8],使油水差异减小,部分高电阻率水层和低电阻率油层在该交会图中难以识别。因此,将反映地下烃类丰度的气测组分与反映地下岩石储集特性岩石物理参数结合起来将是解决低孔渗储层快速识别技术的关键。

研究区进行了大量的气测录井,取得了丰富的气测资料。在交会图版中利用气测资料与测井资料,不同流体类型的分区更明显,即图版对储层流体性质判别更敏感。把孔隙度  $\phi$  与电阻率  $\rho_t$  综合考虑,整合成一个参数后,可以发现水层的  $[1/(\phi \times \rho_t)]$  值明显高于油气层的值,并且知道油气层的  $[1/(\phi \times \rho_t)]$  值是小于 1 的,对储层流体性质的识别效果最好,图 3(a)和图 3(b)为结合了气测资料得到的 YZ 区 XY 组流体性质识别图版。图 3(c)和图 3(d)为 SG 组常规测井资料结合气测资料得到的流体类型识别图版,可以看出,图版中利用气测资料后对流体性质的识别更有效了,分区重合样本点变少了。





注 1:  $\phi$ 为孔隙度,  $1; \phi(TG)$ 为气测全烃体积分数, %;  $\rho_t$ 为地层电阻率,  $\Omega \cdot m$ 。注 2: (a)为 XY 组( $\phi \times \phi(TG)$ )与电阻率交会图; (b)为 XY 组( $\phi \times \phi(TG)$ )与 $[1/(\phi \times \rho_t)]$ 交会图; (c)为 SG 组( $\phi \times \phi(TG)$ )与电阻率交会图; (d)为 SG 组( $\phi \times \phi(TG)$ )与 $[1/(\phi \times \rho_t)]$ 交会图。

Figure 3. Combination of mud logging and logging data for identification of fluid properties

图 3. 录井与测井资料结合识别流体性质识别图版

### 3. 交会图版的算法实现

交会图版算法由聚类算法、点与线位置关系算法和点与折线位置关系算法组成。软件通过该算法实现将用户绘制的分界线转换为 Line 或 Broken 数据结构, 以实现识别算法的及时更新。以下将对这三种算法详细介绍。

#### 3.1. 聚类算法

聚类分析是根据模式之间的相似性对模式进行分类, 对一批没有标出类别的模式样本集, 将相似的归为一类, 不相似的归为另一类。在流体性质交会图版中, 当遇到没有明显的流体性质分界标准的图版时, 可以通过模式识别中的聚类分析算法达到识别流体性质的目的。模式类别之间的相似性或差异性可以聚类准则函数来表示, 是通过计算未知流体性质的储层与已知流体性质试油数据的距离, 并比较未知流体性质的储层与各流体性质试油点均值, 将均值最小的流体性质作为结果输出。

#### 3.2. 点与线位置关系算法

交会图版中经常使用画直线的方法实现对流体性质分布的划分。在双线性坐标中, 点与线位置关系算法的实现通过 Lines 数据结构起点坐标和终点坐标拟合直线方程  $y = kx + b$  (当  $k > 20$  时, 该线为垂线), 通过代入自变量值来对比因变量值进而判断点与直线位置关系。当坐标系内有一轴或两轴是对数坐标时, 需要纠正使用直线方程  $y = kx + b$  带来的视觉误差。其实现方法是采用了计算相对距离的方法间接的实现了坐标轴的转换。该坐标中  $y$  轴为对数刻度的坐标, 定义  $y$  轴的总长度为 1; 同理如果  $x$  轴为对数刻度, 亦可以通过此公式进行转换。

### 3.3. 点与折线位置关系算法

当流体性质分界线为折线时, 需要应用到点与折线位置关系算法。点与折线的位置关系只有两种, 点在折线内(折线小于  $\pi$  的角)和点在折线外, 其通过计算“角度和”的方法实现。该算法的原理如下, 如果点在折线内, 则点与折线两边的角度和必等于折角和。为了减少计算量, 软件采用坐标轴原点平移的方法, 将坐标轴的原点平移到折线的拐点, 然后利用  $\text{Math.Atan2}(y, x)$  方法计算角度。 $\text{Math.Atan2}$  方法返回值是  $\theta$ , 以弧度为单位, 满足  $-\pi \leq \theta \leq \pi$ , 且  $\tan(\theta) = y/x$ , 其中  $x$ 、 $y$  是坐标轴值。

## 4. 应用效果分析

表 1 为层位取自 ZH2 的识别结果与测压取样、试油结果对比数据表, 由表可见符合率为 90%。该方法能快速、直观和准确地判断低孔低渗储层流体性质。

**Table 1.** Comparison of quick identification results of fluid properties with pressure sampling and oil test results  
**表 1.** 流体性质快速识别结果与测压取样、试油结果对比

井号	起始深度/m	终止深度/m	识别结论	测试方式	符合情况
U	3520.6	3526.2	水层	电缆地层测试取样	符合
V	3392.9	3397.9	气层	电缆地层测试取样	符合
	3452.1	3455.9	水层	电缆地层测试取样	符合
W	3385.4	3393.4	气层		符合
	3460.0	3470.2	气层	DST 取样	符合
	3489.9	3497.4	气层		符合
X	3748.7	3756.6	油层	电缆地层测试取样	符合
	2025.5	2032.0	油层	DST 取样	符合
Y	2032.6	2038.7	油层		符合
Z	3625.3	3632.1	气层	电缆地层测试取样	不符合

## 5. 结论

- 1) 储层物性好时, 测井或录井资料交会图可以直观准确地反映地层流体性质。
- 2) 利用录井资料并结合常规测井资料交会图可以对低孔、低渗透砂岩油气藏流体性质进行有效的识别。
- 3) 交会图通过聚类算法、点与线位置关系算法和点与折线位置关系算法来实现。
- 4) 通过 30 个测试层段结果与交会图解释结果对比, 验证了地质录井资料与测井资料相结合的方法识别低孔低渗储层流体性质的方法具有较好的应用效果。

## 参考文献 (References)

- [1] 陈科贵, 温易娜, 何太洪, 等. 低孔低渗致密砂岩气藏束缚水饱和度模型建立及应用——以苏里格气田某区块山西组致密砂岩储层为例[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(2): 273-277.
- [2] 祝海华, 钟大康, 李其荣, 等. 四川盆地蜀南地区上三叠统须家河组低孔低渗储层特征及形成机理[J]. 沉积学报, 2013, 31(1): 167-175.
- [3] 孙海涛, 钟大康, 张湘宁, 等. 鄂尔多斯盆地长北气田山西组二段低孔低渗储层特征及形成机理[J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 724-733.

- [4] 杨雪, 潘保芝, 张晓明, 等. 低孔低渗砂岩储层含水饱和度模型建立及在松南地区的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(S1): 206-209.
- [5] 张浩, 甘仁忠, 王国斌, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷百口泉组多因素流体识别技术及应用[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(1): 55-62.
- [6] 樊志强, 杨国平, 丁熙, 等. 子洲气田山 2 致密砂岩气藏单井流体识别方法及应用[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(6): 1113-1119.
- [7] 凡睿, 周林, 吴俊, 等. 川东北地区须家河组致密砂岩储层流体识别方法研究[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(3): 67-71.
- [8] 王栋, 贺振华, 黄德济. 新流体识别因子的构建与应用分析[J]. 石油物探, 2009, 48(2): 141-145.

[编辑] 帅群

---

**Hans** 汉斯

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)