

· 测井技术应用 ·

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

杨雪*^① 潘保芝^② 张晓明^① 张美兰^①

(①中国石化东北油气分公司, 吉林长春 130062; ②吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130026)

杨雪, 潘保芝, 张晓明, 张美兰. 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. 石油地球物理勘探, 2010, 45(增刊 1): 206~209, 238

摘要 本文通过对松南地区低孔低渗储层 81 块岩样岩石物理分析数据的特征研究, 总结出研究区影响低孔低渗岩石电阻率值的两个主要因素: 一是泥质的附加导电性; 二是由于泥质含量的增加使孔隙结构变复杂而使岩石电阻率值增加。据此, 本文建立了评价低孔低渗储层含水饱和度的模型, 在松南地区取得了良好的应用效果。

关键词 低孔低渗 岩电参数 含水饱和度 泥质含量 孔隙结构 松南地区

1 引言

低孔低渗砂岩储层是我国岩性—地层油气藏的主要储层类型, 如今低孔低渗储层已成为一些老油田挖潜、增产上储和新区块勘探开发的主要对象^[1]。

影响低孔低渗储层形成的因素比较多, 比如物源区的可塑性矿物含量比较高, 压实作用、胶结作用等成岩作用比较强烈, 或者存在挤压应力等^[2,3]。此外, 在低孔低渗储层评价中含水饱和度难于确定。目前, 确定含水饱和度主要是采用电阻率测井方法, 即通过建立含水饱和度与电阻率之间的关系(导电模型)实现。因此导电模型能否正确地描述电阻率与含水饱和度之间的关系将直接影响到测井定量描述储层含油气性的精度^[4]。然而低渗透储层孔隙结构的复杂化使岩石的电导率与含油饱和度偏离阿尔奇关系, 因此评价低孔低渗储层的含水饱和度一直是一个难点^[5]。本文就这种问题对含水饱和度解释模型进行了深入研究。

2 构建含水饱和度模型的基本思路

现今用于评价低孔低渗泥质砂岩含水饱和度的解释模型已有很多, 然而至今仍没有比较合理并且易于应用的通用解释模型。究其原因, 固然与地

质特点有关, 但最主要的原因是过于把目光集中于微观导电机理^[6], 即“泥质”或“黏土”导电机理的“纯”物理特性的研究; 而忽略了泥质砂岩是一种“地质体”, 没有从整体地质特性入手, 分析其宏观导电机理。经过大量现场实际资料与实验室数据分析发现黏土矿物所产生的附加导电性, 只是泥质砂岩宏观导电特性的一个方面。根据沉积学原理, 砂岩储集层泥质含量的增加, 一般都是沉积环境变化的反映。在这一过程中, 将会引起储集层岩石颗粒结构整体变细, 孔隙结构也趋于复杂化, 其结果相当于储集层平均导电截面变小与导电长度增大, 因此在相同的地层水矿化度与含油饱和度条件下, 储集层的泥质含量增加, 所引起的泥质砂岩电阻率也增大。由此可见, 泥质本身附加导电性与岩石孔隙结构变化引起的电阻率增加应该是影响泥质砂岩宏观导电性的因素, 只是在不同地质条件下, 两者有不同程度的影响。

3 含水岩石电阻率 R_0 与泥质含量 V_{sh} 的关系

研究数据来自于松南地区的 81 块岩样实验室岩电分析数据。从 100% 含水岩石电阻率 R_0 与泥质含量 V_{sh} 的关系图(图 1)中可以看出, R_0 与 V_{sh} 的

* 吉林省长春市中国石化东北油气分公司, 130062

本文于 2009 年 11 月 30 日收到, 修改稿于 2010 年 8 月 12 日收到。

关系大致可以分为三个区域,将数据分别做 R_o 与有效孔隙度的关系图(图 2)和 R_o 与粒度中值 M_d 的关系图(图 3)^[7]。具体分析 V_{sh} 、 R_o 、 M_d 及孔隙度之间的关系可知^[8,9]：

(1) I 区 该区域数据随着 V_{sh} 的增大 R_o 有减小的趋势(图 1),当孔隙度越小时,连通孔隙的数量越少,致使 R_o 越大(图 2),而 R_o 与粒度中值 M_d 的关系不明显(图 3),所以该区域孔隙度起主要作用。

(2) II 区 该区域数据随着 V_{sh} 的增大 R_o 基本保持不变(图 1),随着孔隙度增大 R_o 减小(图 2),这说明泥质对 R_o 的影响不仅有附加导电性,而且由于泥质含量增大使孔隙结构变复杂,导致 R_o 增大,且 R_o 与粒度中值 M_d 的关系不明显(图 3),由此可认为该区域数据受孔隙度和泥质含量共同作用。

(3) III 区 该区域数据随着 V_{sh} 的增大 R_o 增大(图 1),随着孔隙度减小 R_o 增大(图 2),而粒度中值 M_d 减小使 R_o 增大(图 3),由此可以认为该区域粒度起主要作用。

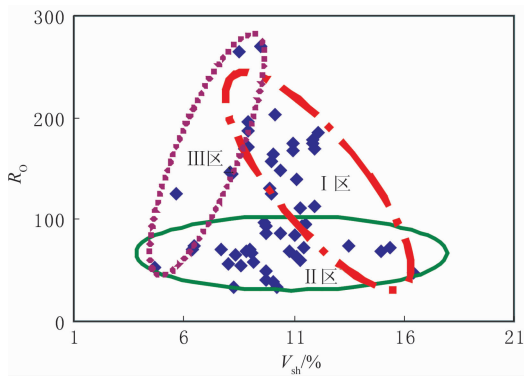


图 1 100% 含水岩石电阻率 R_o 与泥质含量 V_{sh} 关系图

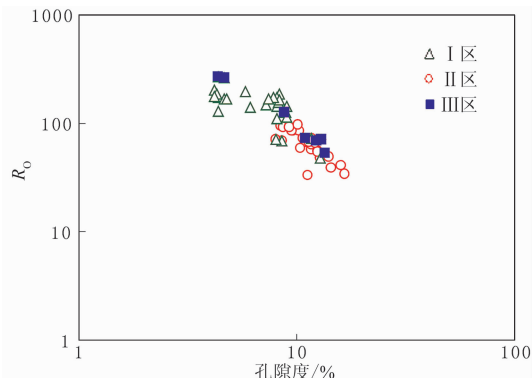


图 2 100% 含水岩石电阻率 R_o 与岩心分析孔隙度关系图

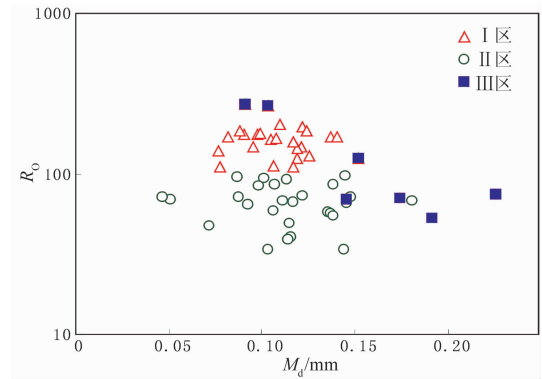


图 3 100% 含水岩石电阻率 R_o 与粒度中值 M_d 关系图

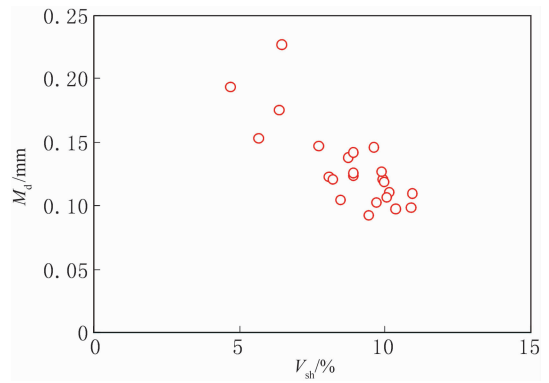


图 4 粒度中值 M_d 与泥质含量 V_{sh} 关系图

(4) M_d 与 V_{sh} 的关系 从粒度中值 M_d 与泥质含量 V_{sh} 的关系图(图 4)中看出,随着 V_{sh} 的增大 M_d 减小,即 V_{sh} 增大引起储集层岩石颗粒结构整体变细。

4 模型的建立及其优势分析

4.1 模型的建立

导电模型的建立需要考虑泥质含量及储集岩的颗粒结构对 R_o 的影响,所以模型中涉及到泥质含量 V_{sh} 的项将分为两部分:一部分为泥质的附加导电性部分,即泥质含量 V_{sh} 的增大使电阻率减小的因素;另一部分因素则考虑 V_{sh} 增大时引起储集层岩石颗粒结构变化,孔隙结构趋于复杂化,而使泥质砂岩电阻率增大的部分^[10]。

基于对上述因素的考虑,本文提出的模型应当满足:①模型体现当泥质含量为零时,符合阿尔奇公式^[11];②模型符合泥质岩石饱和度公式;③模型可以反映当泥质含量增大时,孔隙结构趋于复杂化,结果相当于储集层平均导电截面变小与导电长度增

大,引起泥质砂岩电阻率增大。建立的模型基本形式为

$$\frac{1}{\sqrt{R_o}} = \frac{1}{\sqrt{R_w F K_p}} + \frac{V_{sh}}{\sqrt{R_{sh}}} \quad (1)$$

$$K_p = 1 + \frac{V_{sh}}{\phi} \quad (2)$$

式中: K_p 为提出的孔隙结构改造系数,当 V_{sh} 越大、 ϕ 越小时,其对孔隙结构改造程度越大; C 为比例常数,表示孔隙结构改造的强弱,需要利用岩电实验的资料进行回归,不同地区 C 的取值不同,在选取时可以通过改变 C 值的大小,直到本文模型计算的电阻率与岩心实测的电阻率大小匹配最佳,本文 $C=1$; R_w 为地层水电阻率; R_{sh} 为泥质电阻率; V_{sh} 为泥质含量; ϕ 为孔隙度。

4.2 模型的优势

将本文提出的模型计算的 R_o 与实验测得的 R_o 及应用阿尔奇、Doll和Simandoux模型计算的 R_o 进行对比^[12],结果示于图5~图9。几个模型采用计算公式分别为:

阿尔奇模型

$$R_o = \frac{1}{R_w F} \quad (3)$$

Doll模型

$$\frac{1}{\sqrt{R_o}} = \frac{1}{\sqrt{R_w F}} + \frac{V_{sh}}{\sqrt{R_{sh}}} \quad (4)$$

Simandoux模型

$$\frac{1}{R_o} = \frac{1}{R_w F} + \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \quad (5)$$

在上述模型计算时采用 V_{sh} 与 ϕ 参数均为相同的岩心分析数据, $R_w = 1.9 \Omega \cdot m$, F 参数取自于岩心分析数据分段回归^[13],即

$$F = \frac{a}{\phi^m}$$

其中:当 $\phi > 9\%$ 时, a 取0.7, m 取1.83, $\phi < 9\%$ 时, a 取6, m 取1。

由图6可以看到本文提出模型计算的 R_o 与实验室测得的 R_o 有很好的对应关系。从图7中可以看到阿尔奇公式计算的 R_o 与实测 R_o 有些差距。从图8、图9中可以看到Doll和Simandoux模型计算的 R_o 均与实测 R_o 有差距。经过对比分析可认为本文提出的模型有如下优点:

(1)阿尔奇、Doll、Simandoux和本文提出的模型计算的 R_o 采用的计算参数相同,从图上可以看

出本文提出的模型计算的 R_o 相对于其他几个模型与实测的 R_o 更相近,这主要是由于阿尔奇公式没有考虑到泥质的影响,而Doll和Simandoux模型都没有考虑到泥质含量对电阻率有增大影响的作用,所以本文提出的模型可以更有效地反映岩石导电性;

(2)由于孔隙结构改造系数 K_p 的引入,可以减少孔隙结构变化对电阻率的作用,从而突出孔隙流体对电阻率的相对贡献;

(3)在进行饱和度计算时,涉及参数的计算比较少,并且容易获得;

(4)通过岩电参数的实验即可获得 C 值;

(5)模型的应用比较简单,有利于推广应用。

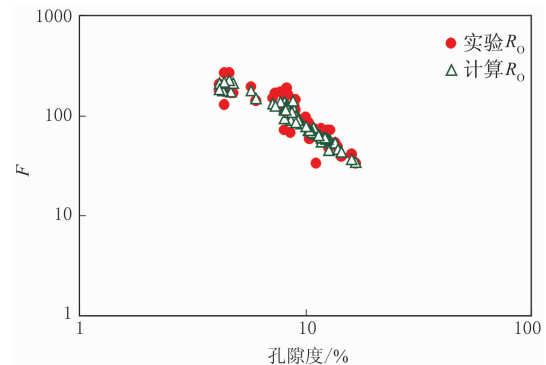


图5 本文提出的模型计算的 R_o 与实验测得 R_o 对比图

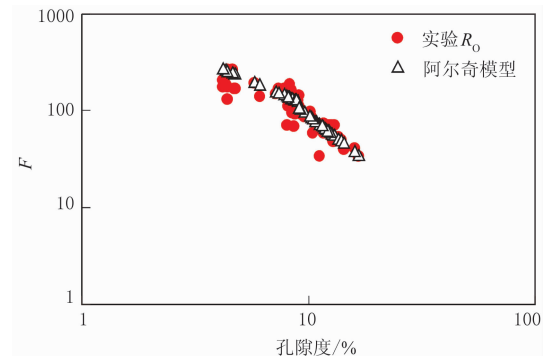


图6 阿尔奇模型计算的 R_o 与实验测得 R_o 对比图

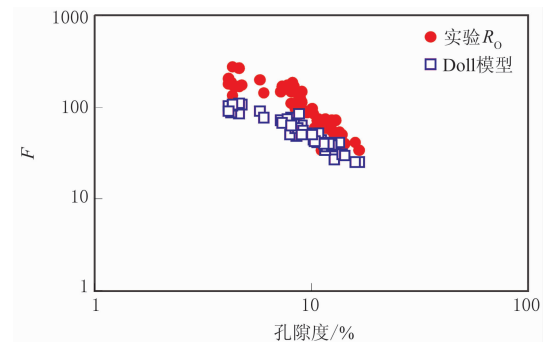


图7 Doll模型计算的 R_o 与实验测得 R_o 对比图

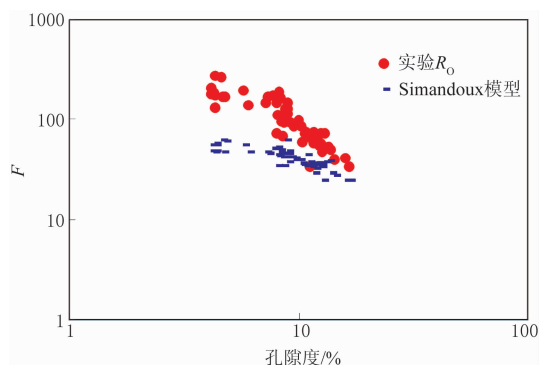


图 8 Simandoux 模型计算的 R_o 与实验测得 R_o 对比图

5 实例分析

本文方法已在松南 SW 地区进行了实际应用。

图 9 为该区 A 井(1470~1490m)处理成果对比图,图中第 5 道为本文提出的模型计算的含水饱和度与束缚水饱和度叠合图;第 6 道、第 7 道和第 8 道分别为阿尔奇、Doll 和 Simandoux 模型计算的含水饱和度,几种含水饱和度的计算采用相同的计算参数。由图可以看出当泥质含量 V_{sh} 很小时,几种模型的计算结果接近;当泥质含量 V_{sh} 较大时,几种计算模型的计算结果出现偏差。但是可以看出在试油层段,本文提出模型计算的结果可以更好地反映试油结果。

图 10 为利用本文方法处理松南 YY 地区 B 井(1945~1967m)的成果图,在此井段试油部分进行了密闭取心,可以看出本文提出模型计算结果与试油结果可以很好的对应。

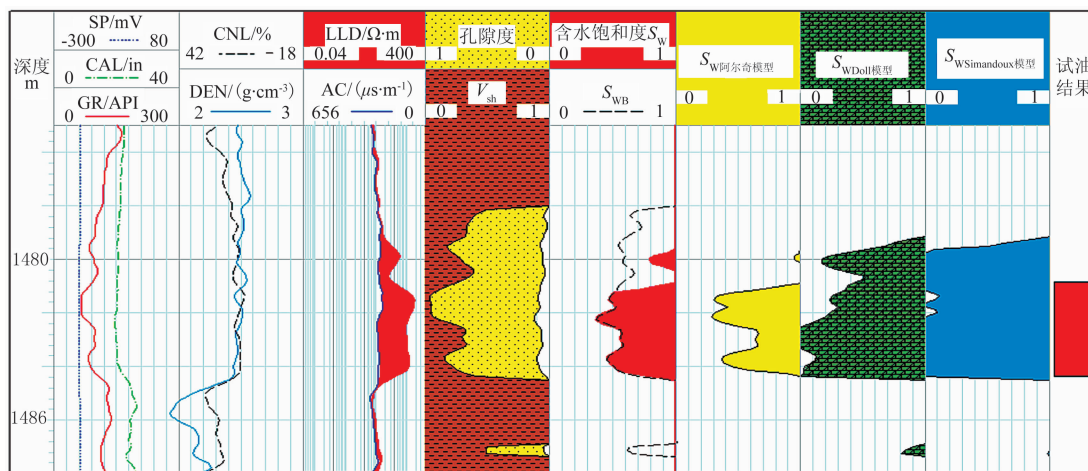


图 9 A 井(1470~1490m)处理成果对比图

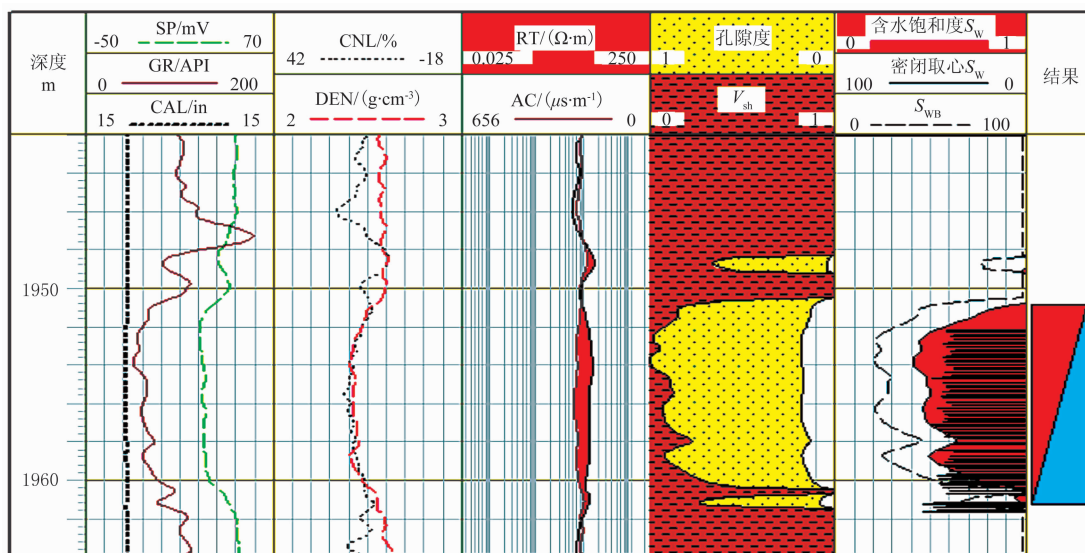


图 10 B 井(1945~1967m)处理成果图