

国际十九届 测井分析者年会论文集

尚 作 源 等 译

石油工业出版社

国际十九届测井分析者 年会论文集

8/10/12
尚作源 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

在十九届测井分析者年会(1978年)上,各国学者宣读了近四十篇专题研究报告。本书汇集了有关石油测井解释的论文十七篇。

Nineteenth Annual Logging Symposium
Transactions

June 13-16, 1978

SPWLA INC.

•
国际十九届测井分析者年会论文集

尚作源 等译

•
石油工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)

承德群众报社印刷厂排版

顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

• 320 千字

787×1092毫米1/16开本12³/₄印张千字~~320~~ 印1-900

1981年12月北京第1版 1981年12月北京第1次印刷

书号: 15037·2304 定价: 1.40元

目 录

计算天然裂缝性储集层原始含油量的误差 (A)	(1)
改进麦肯齐三角洲砂岩地层评价的实用方法 (C)	(11)
在复杂储集岩石中用测井资料分析探测自然裂 缝的新方法——F- ϕ -m交会图 (D)	(28)
泥质砂岩测井参数的确定方法 (E)	(41)
落基山重油储集层的测井分析 (F)	(56)
储集层的两个固有参数——岩性影响系数和孔 隙几何系数之间关系的研究 (I)	(66)
储集层岩石相对渗透率曲线的标准化方法和解 释实践 (J)	(74)
北海侏罗纪砂岩经典测井分析的一个补充—— 矿物成分分析 (M)	(84)
在孔隙介质中进行测井实验评价其渗透率对声 波波形的影响 (Q)	(104)
根据双源距热中子衰减时间测井计算含气纯砂 层的地层压力 (V)	(116)
用可编程序计算器解释泥质砂岩的测井曲线 (X)	(123)
计算机处理的井场测井计算 (Z)	(133)
泥质砂岩储集层含水饱和度和可采油气量的预 测 (BB)	(157)
在液体为主的地热储集层中用双感应侧向测井 确定渗透率 (DD)	(165)
苏联测井技术 (EE)	(178)
一种实用的泥质补偿氦测井 (GG)	(184)
碳/氧比测井在被凝灰岩矿物污染的泥质砂层中 的应用 (HH)	(194)

计算天然裂缝性储集层 原始含油量的误差

加拿大魁北克石油协会 罗伯特·阿吉勒拉

提 要

用体积法计算天然裂缝储集层的原始地层油量，需要预先知道油层的面积、净产层厚度、原油体积系数、骨架孔隙度和裂缝孔隙度，以及骨架和裂缝的含水饱和度。

要精确地确定上述参数实际上是不可能的，尤其对裂缝孔隙度和裂缝含水饱和度更是这样。裂缝性储集层可能会具有很高的最初产油率，因而导致过于乐观的预测。这种最初的高产率是由存在于裂缝中的原始油所造成的。当裂缝系统枯竭时，采油量通常随着气油比的猛增而急剧地下降。以后，采油要依靠抽汲设备将油从骨架汲到裂缝中。所以，对合理评价裂缝网格中原始含油量的重要性必须加以强调。

本文的目的是要具体说明评价天然裂缝储集层原始含油量的方法。采用了蒙特卡罗模拟计算法计算总孔隙度(ϕ)、双孔隙指数(m)、总含水饱和度(S_w)、裂缝孔隙度(ϕ_f)、裂缝中的含水饱和度(S_{wf})、裂缝中的原始含油量(N_f)，以及在推测的双孔隙储油层中的总原始含油量(N)的范围和概率分布。

可以断定，如果能够定量地度量出计算地层含油量中的误差，就能对天然裂缝储集层作出较好的判断。

绪 言

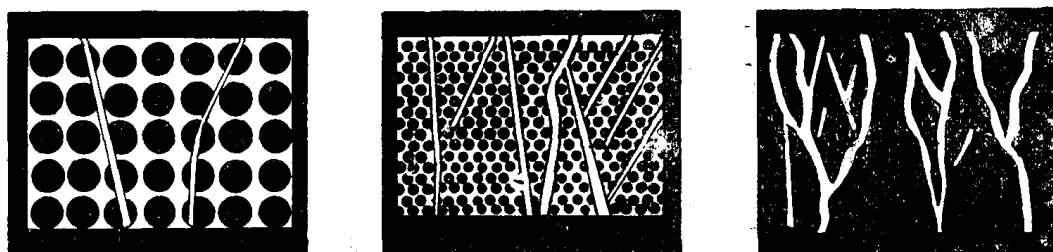
经验表明，开发天然裂缝储集层会导致许多经济上的失败。这是由于很高的原始采油率使工程师们对油井开采的前景作出过高的评价。采油工程师们通常作出这样的假设：(1) 裂缝的储油量是很小的，它们仅仅是充当允许流体通过的渗透性很高的孔道；(2) 骨架具有很高的储油能力，但其渗透率是很小的。

第一个假设是站不住脚的。这个假设在开发天然裂缝储集层中已导致了許多失败。事实上，许多在初始速率下生产的储集层，在很短的时期内产量就急剧下降。这种现象的产生，是因为全部可采的原油都储存在裂缝系统中的缘故。所以，对裂缝系统中的含油量能够作出合理的评价是很重要的。

对上述的第二个假设必须仔细考虑。如果骨架的渗透率很低的话，原油从骨架泄放到裂缝将是很慢的，而且必须是在裂缝中的原油适当的时间间隔内被采出的情况下。如果骨架具有合适的渗透率，那么骨架的储油能力就变得极为重要。

具体搞清天然裂缝储集层储油能力依地层破裂程度和原生孔隙度数值而发生的强烈变化是很重要的。原生孔隙度数值越大，成功地开采天然裂缝储集层的可能性就越大。在图1a中，岩石骨架孔隙的储油能力比裂缝的储油能力大，总孔隙度中的10%是由裂缝组成的。在这种情况下，裂缝是一种坏事而不是好事，在钻井过程中这些裂缝容易产生一些问题，例如泥浆漏失、井喷、着火等。图1b表示裂缝的储油能力与骨架孔隙的储油能力大致相同的情况。在这种情况下，储集层骨架相当致密，而裂缝提供了渗透率接近无穷大的通道。这是一种理

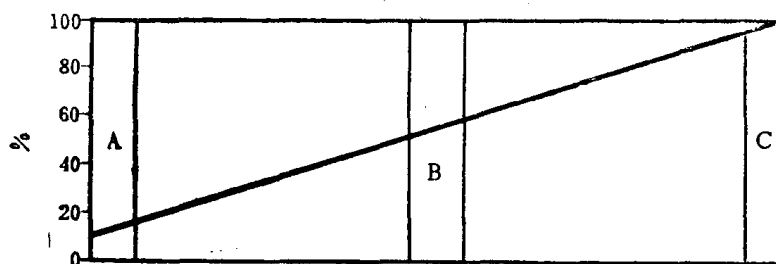
想的孔隙组合，在伊朗，这种地层的单井原油产量有超过一亿标准桶的记录。



a. 岩石骨架（原生孔隙空间）储油能力高，裂缝储油能力低

b. 骨架储油能力和裂缝储油能力差不多

c. 储油全部集中在裂缝中



d. 裂缝在各种类型储集层中所占的百分数

图1 裂缝性储集层的孔隙分布示意图及孔隙在各种类型储集层中所占的百分数

图1c表示岩石骨架孔隙度为零时的情况。在这种情况下，所有的储油能力都是由裂缝提供的。一般说来，这种类型储集层的特征是原油初产率很高，然后在很短的时间内产量就降低到经济上不上算的范围内。但是，文献中也报道过例外的情况。例如，加利福尼亚圣华金谷地的伊迪逊油田⁽²⁾和望山油田，以及洛杉矶盆地的埃尔寒贡德⁽³⁾、威尔明顿和德雷伊滩油田，从前白垩纪的裂缝性基底片岩中采出日产量超过15000桶原油。委内瑞拉西部的拉巴斯马拉油田的基岩中的储油层也是在裂缝系统中的，这个油田从基底储集层开采了80000桶/日以上的原油。阿纳达科东部盆地⁽⁵⁾奥塞杰和梅拉麦克石灰岩的骨架孔隙度，对总储油能力的贡献即使有也是很小的。在这些石灰岩中，全部原油实际上都储存在裂缝系统中。

总而言之，有充分的证据说明，应该排除裂缝储油能力较之骨架储油能力来说是微不足道的这种笼统讲法。

本文的目的是介绍一种方法，以便对计算天然裂缝储集层的原始地层油量过程中所存在的误差作出估计。不能自称这种方法是很完善的，但是它在评价裂缝介质这样一个重大问题中，为作者提供了一种补充手段。

地层的原始含油量

天然裂缝储集层中的总原始含油量可以下面的公式计算出：

$$N = \frac{7758 Ah \phi (1 - S_w)}{B_o} \quad (1)$$

式中: N ——原始地层含油量, 标准桶原油;
 A ——面积, 英亩;
 h ——净产油层厚度, 英尺;
 ϕ ——总孔隙度, 以小数表示;
 S_w ——总含水饱和度, 以小数表示;
 B_o ——初始原油体积系数, 桶/标准桶原油。

裂缝中的原始含油量可以下面公式近似求出:

$$N_f = \frac{7758Ah\phi_f(1-S_{wf})}{B_o} \quad (2)$$

式中: N_f ——裂缝中的原始油量, 标准桶原油;
 ϕ_f ——裂缝的孔隙度, 以小数表示;
 S_{wf} ——裂缝中的含水饱和度, 以小数表示。

下面介绍方程(1)和(2)所涉及的参数的估计方法。

1. 总孔隙度

总孔隙度可以作为骨架孔隙度和分布系数的函数由下面方程(6)算出:

$$\phi = \frac{\phi_b}{1 - V(1 - \phi_b)} \quad (3)$$

式中: ϕ_b ——骨架孔隙度, 以小数表示;
 V ——分布系数, 以小数表示。

分布系数代表在孔隙体积中裂缝所占部分的大小, 其数值可用洛克和布里斯的方法(7)或者通过压力分析(6)确定。骨架孔隙度可以根据实验室对粒间孔隙的岩心分析得到。实验表明, 骨架孔隙度通常具有正态分布(图2), 这点必须加以注意。

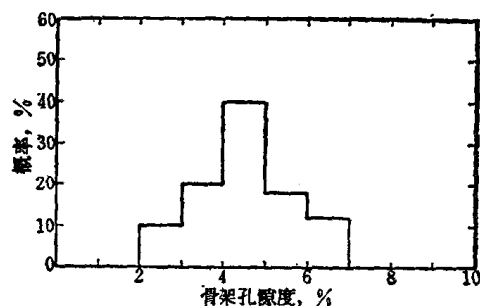


图2 骨架孔隙度分布

2. 双孔隙指数

在此以前已经发现, 天然裂缝储集层的双孔隙指数 m 比粒间系统的孔隙指数小(8、9)。有时, 当有足够数量的地层可获得像图3那种统计结果时, 有可能单独从测井曲线估计出 m 值。如果不存在这种条件, 仍可能用公式(9)

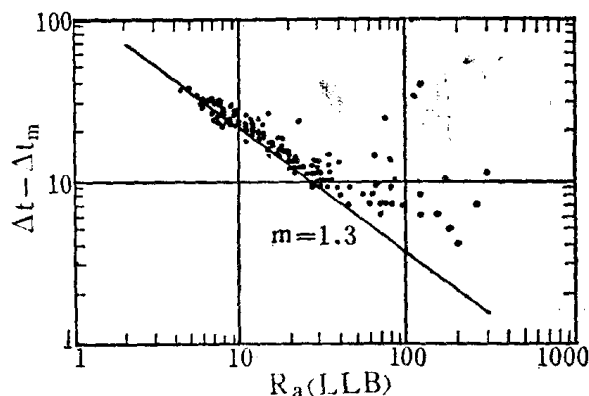


图3 用于评价双孔隙指数 m 的 R_a -孔隙度交会图(8、9)

$$m = -\log \left[\frac{1}{V\phi - (1-V)/\phi_b^{-mb}} \right] \log \phi \quad (4)$$

算出双孔隙系统的 m 值。

式中: m ——双孔隙指数;

m_b ——骨架孔隙度指数。

骨架孔隙指数在实验室通过对粒间孔隙的岩心分析获得。方程(4)所涉及的其它参数可由前面所介绍的方法得到。

3. 总含水饱和度

总含水饱和度可从下式(10)求得:

$$S_w = \left[\frac{R_w}{\phi^n R_t} \right]^{1/n} \quad (5)$$

式中: S_w ——总含水饱和度, 以小数表示;

R_t ——地层真电阻率, 欧姆·米;

n ——含水饱和度指数。

R_w 数值可以从自然电位曲线、水分析或区域地层水电阻率总表得到。总孔隙度和双孔隙指数 m 可由前面讨论的方法得到。地层真电阻率由电阻率测井曲线得到。在本文中, 假设含水饱和度指数 n 等于双孔隙指数 m 。根据以往得到的粒间和裂缝储集层的实验结果(9、11), 没有发现这个假设有不合理的地方。

4. 裂缝孔隙度

为计算裂缝系统中的原始地层含油量, 需要估计裂缝的孔隙度。裂缝孔隙度可由方程(3)确定的总孔隙度和从岩心分析确定的骨架孔隙度之差近似求得, 即:

$$\phi_f = \phi - \phi_b \quad (6)$$

正如绪言中所指出的, 必须对定量估计裂缝孔隙度的重要性加以强调, 一定要避免采用裂缝孔隙对储油能力的贡献可忽略不计的笼统假设。

5. 裂缝含水饱和度

在石油工程文献中经常忽视估计裂缝中含水饱和度的可能性。然而, 根据希尔奇和皮尔逊推荐的把裂缝看作一组管状通道的方法(12), 是能够估计出裂缝的含水饱和度的。图4是由法特提出的把裂缝看作一组管状通道的相对渗透率曲线。这些曲线表明, 水的相对渗透率等于裂缝的含水饱和度。因此, 下一步将是计算作为油的粘度、水的粘度、原始油水比和初始原油体积系数等因素的函数的 K_{rw} 值。这项工作可应用下列方程完成:

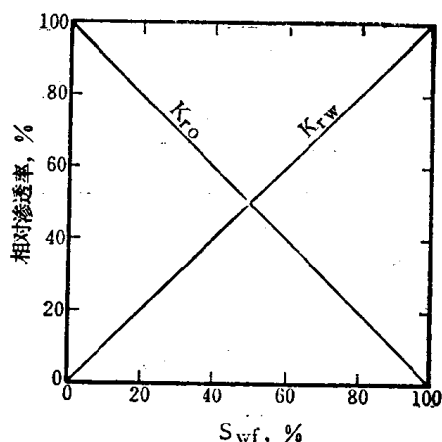


图4 将裂缝视为一组管状通道的相对渗透率曲线(13)

$$S_{wf} = K_{rw} = \frac{\mu_w \text{WOR}}{B_o \mu_o - \mu_w \text{WOR}} \quad (7)$$

式中: K_{rw} ——水的相对渗透率, 以小数表示;

μ_w ——水的粘度, 厘泊;

μ_o ——油的粘度, 厘泊;

WOR——原始油水比。

已经使用方程(7)预测原始的油水比, 并得到了正确的结果(12)。这就促使有可能使用方程(7)来计算裂缝中的原始含水饱和度。

6. 油层面积

航空摄影已经成功地用来测绘一些区域的裂缝方向。阿尔佩(13)报道了航空摄影在得克萨斯州西部几个油层的现场应用。总的说来, 他发现由航空摄影所确定的主裂缝方向和从油田动态资料得到的井下实际方向重合得很好。裂缝方向的航空摄影测绘工作必须由一些专家进行, 因为某些人为造成的特征, 如围墙、电线、道路、管线等都可能错当天然裂缝的方向。为了避免可能出现的这种差错, 只要情况许可, 最好用这个方法去研究那些自然环境还没有被人改变的地方。

测绘裂缝方向的另一个方法(15), 是利用从普通测井曲线导出的地层破裂程度指数。在得

克萨斯州的奥斯汀白垩地层中，这个指数提供了估计距断层面距离的有价值的资料，并且在魁北克的圣劳伦斯低地成为一种非常可信的手段。地层破裂程度指数 (FII) 由式 (8) 确定：

$$FII = \frac{\phi - \phi_b}{1 - \phi_b} \quad (8)$$

如图 5 所示，当断层接近时，FII 的数值就增加。根据计算的 FII 值，由类似图 6 的曲线，就可

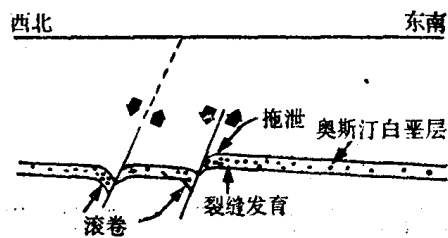


图 5 Luling-Mexia 型断层 (14)

估计出距断层面的横向距离。图 6 是对奥斯汀白垩地层得到的。测绘裂缝走向可估计出油层面积的数量级。

圈定裂缝走向的另一个可信的方法，是使用光学的遥感图像法 (16)。

7. 净产层厚度

如果有证据表明，垂直裂缝延伸在整个目的层段，有时可以用普通的方法确定出净产层厚度。确定裂缝产层的其它一些可能的有效手段包括：变密度测井曲线 (17)、双感应-八侧向 (18)、声波和中子或密度测井曲线 (18)、岩心孔隙度和中子测井曲线 (19)、井下电视 (20)、骨架孔隙度 m_b 和双孔隙指数 m 的对比 (9)、周期跳跃 (21)、自然电位曲线 (22)、补偿密度测井校正曲线 (23)、泥质体积与铀指数的对比 (22)、岩性-孔隙度交会图 (24)、长短电位曲线的对比 (15)、产量指标 (25)，以及温度和噪声测井曲线 (25)。

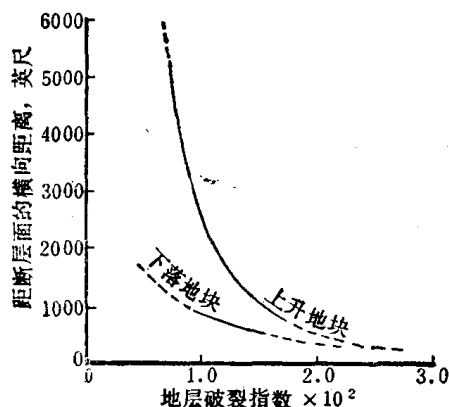


图 6 在白垩地层中，距断层面的横向距离 (FPI) 与地层破裂程度指数 (FII) 的函数关系图 (14)

误差的估计

测井分析者苦恼地知道，前面的各方程或其他用来评价裂缝储集层的方程都不是准确的。然而如果测井分析者能把解每一方程所涉及的参数都限制在一个合理的范围内的话，这些方程就能提供有意义的资料。范围的选择应尽可能紧密结合现有的基础资料。测井解释人员也必须对手头资料选择最好的概率分布。这种信息允许使用蒙特卡罗模拟法进行概率分析。蒙特卡罗模拟法实质上是取输入数据的概率分布，并在这些数据预定的最小值和最大值范围内得出随机值。通过多次的反复计算 (例如 100 次、200 次、1000 次或次数更多的计算)，测井分析者便有充分的资料绘制出各种不同的答案 (例如地层含油量) 对所出现的概率的关

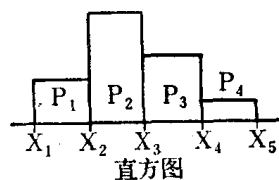


图 7 从直方图分布进行随机值选择的示意图

系图。所产生的数据供解释人员和管理人员作决定用。

有几种概率分布已经在参考文献(26、27)中讨论过。本文将只考虑直方图分布、三角分布和矩形分布。

1. 直方图分布

实验表明,大多数粒间孔隙分布是对称的^[28]。所以,处理天然裂缝储集层时,如输入数据是原生孔隙度时,最好选用直方图分布。选择直方图分布的随机值的方法如图7所示。

2. 三角分布

可根据数据的下值、可能值和上值的情况酌情使用三角分布。从三角分布选择随机值的示意图示于图8中。

3. 矩形分布

矩形分布也叫做均匀分布。当输入数据存在高度的不定性,并只知道范围的上限和下限时,使用这种类型的分布。从均匀分布选择随机值的过程如图9所描述。

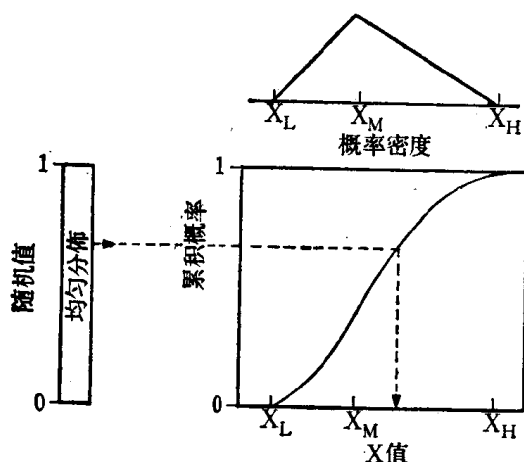


图8 从三角分布进行随机值选择的示意图

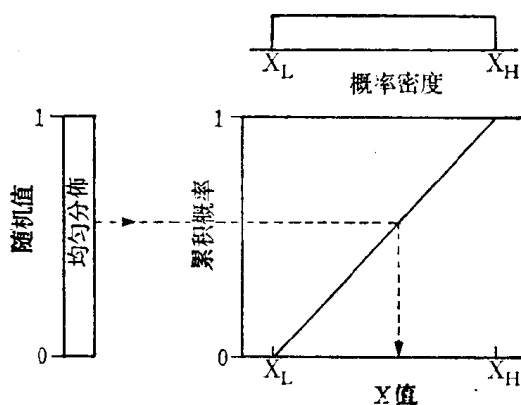


图9 从均匀分布进行随机值选择的示意图

实 例

举出本例的目的,是想为定量确定评价天然裂缝储集层的误差提供一个工作方法。解释中用到的数据如下:

参 数	分 布	数 值			数 据 来 源
		下 值	可 能 值	上 值	
V	三角分布	0.10	0.20	0.40	岩心 ⁽⁷⁾ 和压力 ⁽⁶⁾ 分析
m _b	矩形分布	1.90	—	2.10	粒间孔隙的岩心分析
R _i	三角分布	30.00	35.00	50.00	测井曲线
R _w	矩形分布	0.05	—	0.07	自然电位测井曲线、水分析、R _w 总表、 ϕ -R交会图
B ₀	矩形分布	1.30	—	1.45	PVT分析, 经验图表
h	三角分布	90.00	110.00	150.00	测井曲线, 岩心分析

另外, 利用下列岩心数据绘制了骨架孔隙度 (ϕ_s) 的直方图(图 2):

使用方程 (3) 和蒙特卡罗模拟法计算了总孔隙度 ϕ 。其结果绘在图10a中。计算出的总孔隙度在最低值2.6%和最高值9.9%范围之间。图10a还表明, 总孔隙度大于5.6%的概率为50%, 而大于4.3%的概率为80%。

骨 架 孔 隙 度 范 围	概 率
0.02~0.03	0.10
0.03~0.04	0.20
0.04~0.05	0.40
0.05~0.06	0.18
0.06~0.07	0.12
	1.00

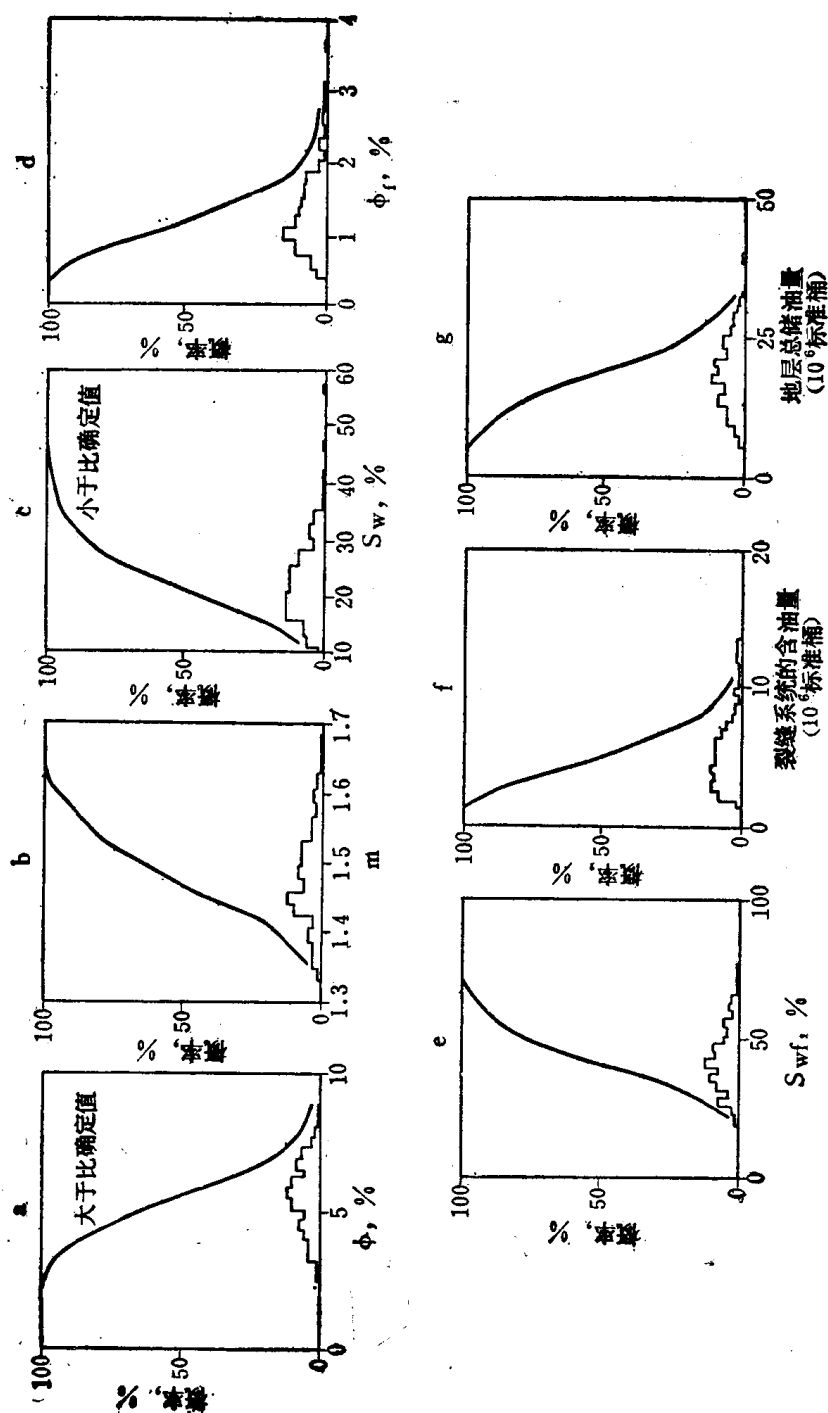


图10 例题计算中出现的概率

计算得到的双孔隙指数 m 值，绘在图10b中。要注意，和输入的 m_0 值1.9~2.1相比，计算得到的 m 值的范围为1.321~1.678。

图10c示出总含水饱和度 S_w 在9.7%~57%之间变化。从图10c还可看出，含水饱和度为22%或不到22%的机会为50%，而含水饱和度为27%或不到27%的可能性为80%。

要注意到，在图10a中，孔隙度出现的概率以“比某确定值大”的形式绘出，而在图10c中，含水饱和度出现的概率是按“比某确定值小”的形式绘制的。这是因为我们总是希望孔隙度尽可能大而含水饱和度尽可能小。

如图10d所示，求出的裂缝孔隙度范围在0.47~3.7%之间，面裂缝孔隙度 $\geq 1.8\%$ 的可能性为50%。

如图10e所示，计算得到的裂缝含水饱和度的范围在21~77%之间，其可能值为41%。

这个例子的主要研究目的，是定量确定裂缝系统的含油量（示于图10f）。裂缝中的含油量的变化范围在1.85~13.46百万标准桶之间。含油量 ≥ 5.1 百万标准桶的可能性为50%。含油量 ≥ 3.5 百万标准桶的可能性为80%。

最后，地层中的总储油量（骨架储量加上裂缝储量）的变化范围在3.6~40.9百万标准桶之间，而地层总储量大于18百万标准桶的可能性是50%。

结 论

测井解释人员知道，他们得到的结果并非总是正确的。他们还认识到测井分析这门科学是建立在经验基础之上的，所得结果并不是精确的，特别是处理天然裂缝储集层时会出现很严重的误差。这种误差可用蒙特卡罗模拟法进行定量计算。本文提出的这套方程，在作者的实践中已经取得了合理的结果。但是，这套方程或者别的什么方程都是不完善的，所以必须按本文介绍的这类方法进行处理。定量地求出裂缝系统中的地层含油量，对于正确估计油层的寿命是很重要的。

参 考 文 献

1. McNaughton, D.A., and Garb, F.A.: "Finding and Evaluating Petroleum Accumulations in Fractured Reservoir Rock," Proceedings of the Southwestern Legal Foundation, Exploration and Economics of the Petroleum Industry, volume 13, Copyright 1975 by Matthew Bender & Company, Inc., New York, New York.
2. Beach, J.H.: "Geology of Edison Oil Field, Kern County, California," in Structure of Typical American Oil Fields, Amer. Assoc. Pet. Geol., Tulsa, Oklahoma (1948) 3, 58-85.
3. Porter, L.E.: "El Segundo Oil Field, California," Trans. AIME (1943) 127, 451.
4. Smith, J.E.: "Basement Reservoir of La Paz-Mara Oil Fields, Western Venezuela," Bull. Am. Assoc. Pet. Geol. (February, 1956) 40, 380-385.
5. Harp, L.J.: "Do not Overlook Fractured Zones," World Oil (April, 1966) 119-123.
6. Pirson, S.J.: "Petrophysical Interpretation of Formation Tester Pressure Build-Up Records," Trans. SPWLA (May 17-18, 1962).
7. Locke, L.C., and Bliss, J.E.: "Core Analysis Technique for Limestone and Dolomite," World Oil (Sept., 1950) 204.
8. Aguilera, Roberto: "Analysis of Naturally Fractured Reservoirs from Sonic and Resistivity Logs," J. Pet. Tech. (Nov., 1974) 1233-1238.
9. Aguilera, Roberto: "Analysis of Naturally Fractured Reservoirs From Conventional Well Logs," J. Pet. Tech. (July, 1976) 764-772.
10. Archie, G.E.: "The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics," Trans., AIME (1942) 146, 54-67.
11. Coates, G.R., and Dumanoir, J.L.: "A New Approach to Improve Log-Derived Permeability," Trans. SPWLA, Lafayette-Louisiana (May 6-9, 1973).
12. Hilchie, D.W., and Pirson, S.J.: "Water Cut Determination from Well Logs in Fractured and Vuggy Formations," Trans. SPWLA, Dallas, Texas (May 18-19, 1961).
13. Fatt, I.: "The Network Model of Porous Media, II, Dynamic Properties of a Single Size Tube Network," Trans., AIME (1956) 207, 160-163.
14. Alpay, O.A.: "Application of Aerial Photographic Interpretation to the Study of Reservoir Natural Fracture Systems," Paper SPE 2567 presented at the 44th Annual Meeting of the SPE of AIME, Denver, Colorado (Sept. 28 - Oct. 1, 1969).
15. Pirson, S.J.: "How to Map Fracture Development from Well Logs," World Oil (March, 1967) 106-114.

16. Rabshevsky, G.A.: "Optical processing of Remote Sensor imagery," Proceeding of the Seventh Appalachian Petroleum Geology Symposium held at Morgantown, W. Va. (March 1-4, 1976) 100.
17. Walker, Terry: "Progress Report on Acoustic Amplitude Logging for Formation Evaluation," paper SPE 451 presented at the 37th Annual Fall Meeting of the SPE of AIME in Los Angeles, California (Oct., 1962).
18. Log Interpretation Principles - Schlumberger - Chapter 18, p. 105 (1973).
19. Pickett, G.R. and Reynolds, E.B.: "Evaluation of Fractured Reservoirs," Soc. Pet. Eng. J. (March, 1969) 28.
20. Zemanek, J., Caldwell, R.L., Glenn, E.E., Holcomb, S.V., Norton, L.J., and Strauss, A.J.D.: "The Borehole Televier - A New Logging Concept for Fracture Location and Other types of Borehole Inspection," J. Pet. Tech. (June, 1969) 762-774.
21. Pickett, G.R.: "Acoustic character Logs and Their Applications in Formation Evaluation," Trans. AIME (1963) 228, 659-667.
22. Heflin, J.D., Neill, B.E., and DeVries, M.R.: "Log Evaluation in the California Miocene Formations," paper SPE 6160 presented at the 51th Annual Meeting of SPE of AIME held in New Orleans (Oct., 1976).
23. Beck, J., Schultz, A., and Fitzgerald, D.: "Reservoir Evaluation of Fractured Cretaceous Carbonates in South Texas," Trans. SPWLA (1977) paper M.
24. Burke, J.A., Campbell, R.L., and Schmidt, A.W.: "The Litho-Porosity Cross-Plot," Trans. SPWLA (1969).
25. Myung, J.I.: "Fracture Investigation of the Devonian Shale Using Geophysical Well Logging Techniques," Proceeding of the 7th Appalachian Petroleum Geology Symposium held at Morgantown, W. Va. (March 1-4, 1976).
26. McGray, A.W.: Petroleum Evaluations and Economic Decisions, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey (1975) 201.
27. Walstron, J.E., Mueller, T.D., and McFarlane, R.C.: "Evaluating Uncertainty in Engineering Calculations," J. Pet. Tech. (Dec. 1967) 1595.
28. Amyx, J.W., Bass, D.M., and Whiting, R.L.: Petroleum Reservoir Engineering - Physical Properties, McGraw-Hill Book Company, New York, Toronto, London (1960) 538.

(张国维译、李舟波校)

改进麦肯齐三角洲砂岩地层 评价的实用方法

加拿大Chevron标准有限公司 W.L.约翰逊 W.A.林克

提 要

为了有效地评价麦肯齐三角洲七十多口井的测井资料和其它地层评价资料,用计算机进行了大量的分析。有些时候,用测井资料很难解释储集层所含流体的性质,并且常常很难确定计算储量所需的含水饱和度的准确数值。原因大部分归结于低矿化度地层水以及砂岩储集层所含粘土类型和数量的综合影响。如下面将提到的,有一些粘土对电阻率测井有显著的影响,而另一些粘土则影响很小或没有影响。目前是用中子和密度测井交会图来求解有效孔隙度和泥质体积,这种方法高估了粘土含量并给出过低的有效孔隙度值。还有一种解释方法和阳离子交换能力有关,这种方法能够更简单和精确地根据测井资料求得有效孔隙度和有效粘土体积。文中还提供了其它一些地层评价参数,例如孔隙度的函数地层因数。

绪 言

过去二年来,从麦肯齐三角洲(图1)*七十多口井中获得了大量的测井资料和其它地层评价资料。大多数测井资料,或者在野外直接数字记录,或者由各公司在室内转换成数字形式。为了恰当地评价这些资料,已经用计算机进行了大量分析。

早期的解释方法应用中子-密度交会图结合自然伽马资料来确定地层所含粘土体积和有效孔隙度。经过不同程度的处理,可以使这种交会图提供似乎合理的答案。然而,我们认为这种方法高估了对电阻率测井有影响的粘土体积,并且给出过低的有效孔隙度。这里所用的砂岩有效孔隙度系指由密度或中子-密度测井所得到的孔隙度消去粘土和油气的影 响。曾应用交互的泥质砂岩模型,但其成功是有限的。随着在实验室测量阳离子交换能力(CEC*)工作的开展,得到了一组经验公式,可以用测井资料来确定粘土体积和储集层含水饱和度。经过对密度测井所求得的孔隙度与岩心分析结果的比较,证明密度测井所确定的储集层孔隙度是准确的。此外,麦肯齐三角洲的岩心分析资料表明,岩样在净上覆岩层压力增加时孔隙度和渗透率降低。这些资料与不同地区,例如北海和美国墨西哥湾沿岸地区类似的测量结果十分符合。

测井资料的标准化

处理大量的测井资料时,由于仪器的错误刻度、井眼影响和泥浆性质变化等原因,必须将这些资料标准化。测井标准化是一个专题,这里将不详细讨论。在E.T.康诺莱论述的文献中(1968),讨论了在阿尔博塔西北部的林勃地区测井标准化所遇到的问题。在麦肯齐

* 图1略——编者。

三角洲, 由于缺乏明确的岩性, 例如: 致密灰岩和硬石膏用作井下刻度校验, 所以标准化就更加困难。有效的标准化方法是绘制泥岩传播时间、密度、中子响应和电阻率的直方图、交会图以及深度图。当同一口井中进行多种方法测井时, 作深度图的方法是最成功的。这些方法在大区域使用时, 由于测井响应可以发生局部地区的变化, 所以仍然不十分确定。

泥质砂岩测井评价

研究泥质砂岩的人员⁽¹⁾注意到, 在实验室测量得到的 R_0 和 R_w 的关系曲线, 不总是如阿尔奇⁽²⁾在1942年发表的论文所指出的那样是一条直线(见图2)。

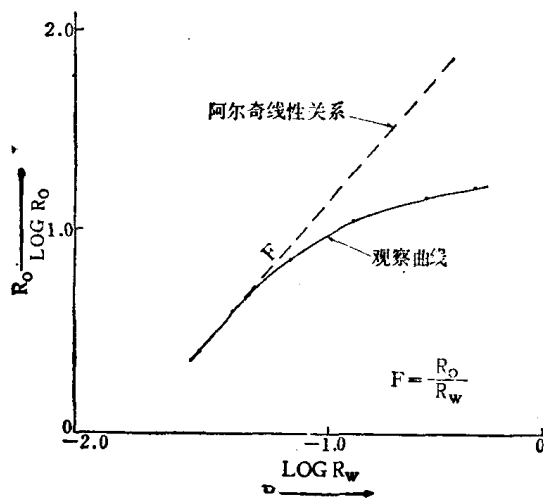


图2

在饱和和高电阻率流体的地层中, 这种分歧现象更为明显。在低矿化度高电阻率地层水的情况下, R_0 的值比由阿尔奇公式计算的值低得多。 R_0 值的降低是由于泥质砂岩孔隙中的粘土和流体共同提供离子的结果, 这些离子决定了岩石的电导率, 也就是说, 阿尔奇公式假定岩石骨架不起作用, 而实际上某些粘土能够提供离子, 明显地改变岩石的电性。当对储集层作了“泥质校正”, 即意味着消除了粘土使电阻率降低的影响, 只有“无泥质”电阻率用于计算含油气饱和度。如果砂岩的泥质校正错误, 将导致过低的含油气

饱和度, 并且将漏失产油气层。天然气对中子和密度测井的影响(见附录)也必须消除。

大多数测井分析家熟悉用于求解 V_{cl} 和 ϕ 的 ϕ_N - ϕ_D 交会图(图3a)。然而, 有一些地区以 ϕ_N 和 ϕ_D 资料绘制的交会图常常类似于图3b, 这种图形似乎指出在井段中没有纯砂岩。很可能不存在绝对纯净的砂岩, 但是图上指示的最低的粘土含量为20~25%, 似乎与自然伽马和自然电位的砂岩显示不相符合。使用这种方法的另一个问题, 是粘土点很难由实际的测井资料证实(图3b), 结果许多资料的处理由解释人员主观决定。此外, 如下所示, 在纯水线和粘土点之间

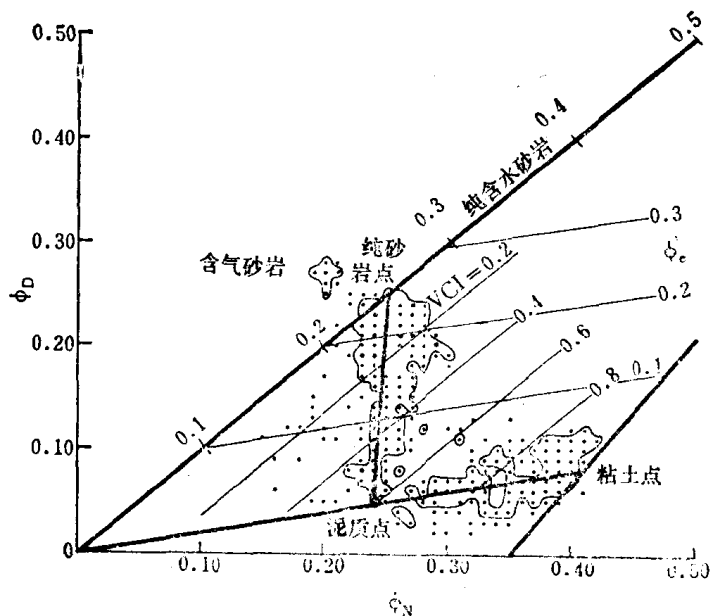


图3a 显示砂泥质地层数据点典型分布的中子-密度交会图

V_{cl} 值的刻度不是线性的。

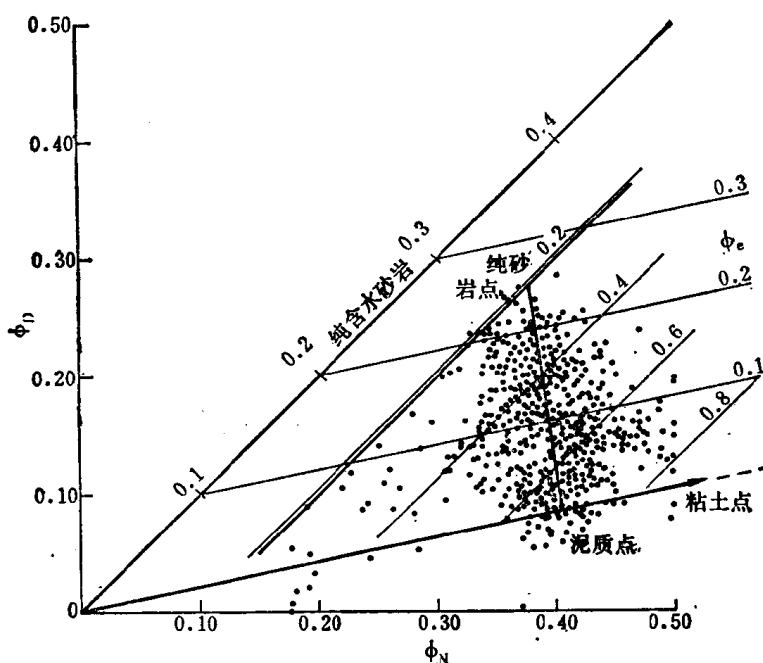


图 3b 麦肯齐三角洲地区常见的中子-密度交会图 (含水砂岩)

粘土矿物概况

关于各种粘土矿物阳离子交换能力 (CEC) 的实验室测量已有记载。这里所指的阳离子交换能力, 定义为单位重量干岩石的阳离子置换数量。这种置换发生在粘土片内部或在被孔隙水隔开的二组粘土片之间。

粘土是一种颗粒很细 (小于0.03毫米) 的可塑性天然物质, 实际上由含结晶水的硅酸铝组成。

高岭石晶体由如图 4 所示的二个层构成 (根据岩心的实验室分析), 每一层包括一个硅四面体片和一个铝八面体片。在高岭石内, 晶体沿C轴方向重叠。不同于别的粘土成分, 高岭石的分子式 $Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$ 的变化很小。

因为阳离子置换不在单层中发生, 所以理论上, 高岭石的阳离子交换能力应为零值。实际上高岭石有一些阳离子交换能力, 这是由于在层的四周有一些断裂键的缘故, 这便产生不平衡的负电荷。这些负电荷由能够被有限置换的阳离子所平衡。结果, 高岭石有很低的CEC值: 0.03~0.10毫克当量/克 (格瑞姆⁽³⁾1968)。与这个数值有些不同, 华兴顿 (1974, 未发表) 提出高岭石CEC的平均值为0.03毫克当量/克。无论如何, 高岭石的CEC值被认为是低值。

阳离子交换能力高的粘土, 在泥质砂岩电阻率降低的现象中起主要作用。由于高岭石的CEC值低, 因此它的作用在很大程度上犹如对电阻率降低不起重要作用的孔隙充填物。如果认识不到高岭石在泥质砂岩电阻率降低的现象中不起重要作用, 那么在计算含水饱和度时将导致一系列错误。

和高岭石不同, 伊利石含有不定的化学成分, 可以由下式表示:

