

SPWLA Logging Symposium Transactions

测井分析家协会 二十三届年会论文集

测井分析家协会 编

石油工业出版社

测井分析家协会 二十三届年会论文集

王曰才 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

测井分析家协会二十三届(1982)年会上,各国学者共发表论文40篇,原书分二卷出版。本书共选辑31篇。测井分析家协会年会论文集反映了世界上测井理论和技术的最新成果,题材广泛,内容丰富。可供测井、地质、油田开发技术人员和大专院校有关师生参考。

Twenty-Third Annual Logging Symposium

Transactions

Vo I, Vo II

July 6-9, 1982

SPWLA

测井分析家协会二十三届年会论文集

王曰才等译

石油工业出版社出版

(北京安定门内外馆东后街甲36号)

振南排版厂排版

化工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本30印张760千字 印1—1,200

1986年7月北京第1版 1986年7月北京第1次印刷

书号: 15037·2481 定价: 5.85元

出版者的话

测井分析家协会二十三届(1982)年会是在美国召开的。各国学者共发表论文40篇,其中有中国测井工作者吴继余和汪世杰、孙君明的两篇论文。本书从40篇论文中选辑了31篇论文。有些论文(如自然伽马能谱)收入了其他专辑中,有的则限于篇幅未收入本书。

从二十三届起,我们将陆续出版一年一届的测井分析家年会论文选集,欢迎读者对本书的编辑出版工作提出宝贵意见。在本书编辑出版过程中得到了沈志成、王文祥等同志多方帮助,得到了石油部情报所、华东石油学院、江汉石油学院、石油勘探开发科学研究院等有关同志的大力支持,在此一并表示感谢。

目 录

一、VOLAN——一种先进的计算机测井分析程序(A)	1
二、岩性密度测井在密执安和伊利诺斯盆地的应用(C)	14
三、共同参与测井质量控制(D)	27
四、一个通用的阿尔奇公式(E)	35
五、用伞式流体电容仪测量油、水流动(F)	42
六、北海云母砂岩的解释(G)	57
七、倾斜井感应测井的反褶积(H)	82
八、声波全波测井技术(I)	91
九、利用频率分析详细确定地层倾角的解析法(J)	110
十、各种砂岩的自然伽马资料分析(K)	127
十一、CNT*-G下井仪器的层界面响应(L)	144
十二、利用有限元素法解决感应测井问题(M)	154
十三、超声波水泥胶结评价(N)	166
十四、井眼中鉴别垂直裂缝的环形声波测井(S)	175
十五、确定砂岩与泥质砂岩的孔隙度——第二部分:复杂矿物与油气的影响(T)	191
十六、感生极化现象与定量地层评价的关系(U)	219
十七、提高长源距声波传播时间数据的质量(V)	236
十八、岩石物性测井反褶积的应用及其局限性(W)	252
十九、水泥胶结测井仪(Y)	270
二十、根据测井记录检测油气层的统计学方法(Z)	278
二十一、含油火成岩的测井评价(AA)	301
二十二、含水饱和度超过50%的高产砂岩纯油层——一种双孔隙系统的 研究(BB)	329
二十三、页岩储集层的计算机评价技术——COMSET(CC)	337
二十四、相测井:自动确定电性相(FF)	352
二十五、声波波形分析应用(GG)	368
二十六、根据反应度测量确定小岩样的热中子截面(HH)	389
二十七、页岩变化带影响声波传播时间的实例研究(II)	402
二十八、非牛顿流体状态下核流量测井可见流动环路研究(JJ)	412
二十九、用常规测井资料研究四川盆地裂缝—孔隙型碳酸盐岩气田的储量(KK)	428
三十、岩性系数法——复杂泥质砂岩地层的油气评价方法(MM)	443
三十一、利用阳离子交换量(CEC)资料对特低电阻率火山凝灰岩进行快速测井 解释方法(NN)	458

一、VOLAN——一种先进的计算机测井分析程序 (A)^①

G.R.考茨等

沈志成译

摘 要

一九七七年提出了双水法,用来说明粘土矿物对电阻率测量的影响。投产以来,证据支持了原理,该方法的前提是目前正用于最新的测井资料处理中。

新的 VOLAN 程序应用基于双水原理的模型作地层的体积分析。泥质砂岩是这种新处理技术的最初目标,下一步的发展将包括碳酸盐岩和混合岩性地层的应用。

发展这种新程序是为了:

1. 充分利用双水模型概念的优点;
2. 功能上能包括利用新的测井测量结果;
3. 使用自动参数选择;
4. 用统计刻度作束缚水比例的二次计算。

在 VOLAN 程序投产之前,双水模型只用于斯伦贝尔快速直观井场解释和热中子衰减时间测井(TDT)分析。在新程序中该模型提供正确的孔隙度值,并为含水饱和度基本分析带来新的精度。程序也允许使用模型的理论原理,包括理想化的束缚水导电性。

双水模型克服了一般泥质砂岩模型原理上的局限性,这些一般模型靠中子密度特性和粘土体积分分析测量值。VOLAN 程序也综合了岩性密度、电磁传播测井和自然伽马能谱测井的测量结果来提供精确的体积刻度。

引 言

阳离子交换容量(CEC)模型大大加深了我们关于粘土矿物对电阻率测量的影响的理解。但是,由于没有不用岩样确定给定情况下正确的 CEC 的方法,使这种知识的应用受到妨碍。

提出的双水模型排除了这种困难,因为双水模型在 CEC 模型和测井显示之间提供了比较系统的转换。到目前为止,这些技术仅限于 CYBERLOOK 井场快速直观程序和 TDT 解释程序包。由于软件结构和模型不相似的原因,把双水原理结合在现有的含泥质地层程序中,如 SARABAND 或 CORIBAND,是不能令人满意的。

此后,汇编出了新软件包 VOLAN,它把双水模型的能力与中子-密度测井的地质特征结合在一起,并允许应用新的测井测量结果。

、 双 水 模 型

地层含有粘土使该地层的电阻率测量结果受畸变。双水模型中粘土的影响基本上可用这

① (A)、(C)……(NN) 为原文版篇名
序号——编者著。

样一句话来说明：在阿尔奇类型的关系式中， R_w 随粘土含量和类型而变化。

双水模型的基础是考虑伴随粘土矿物的离子束缚水所占的体积。用图 1 所示的方式想象岩层是有益的。该图中，有效孔隙度 ϕ_e 包括自由水总体积 ϕ_{wf} 和油气总体积 ϕ_{br} 的总和。束缚水加上有效孔隙度给出总孔隙度。该模型所指的束缚水不包括毛细管力和表面张力所保持的不可采水体积，认识到这一点是很重要的。不可采水的电性与自由水相同，在该模型中它是自由水的一部分。束缚水的电性可以与自由水相同，但往往是不一样的。

地层体积的其余部分是干粘土 V_{dc} 、湿粘土 V_{wc} （通常称为“粘土”）、粉砂 V_{s1} 、骨架 V_{ma} 和油气 ϕ_h ，它们已示于图 1 中。已知总含水饱和度和束缚水饱和度可计算出部分上述组份。

岩石电导率的表达式如下：

$$C_t = \frac{S_{wt}^n \cdot C_{we}}{F} \quad (1)$$

$$\text{式中 } F = \frac{a}{\phi_t^m} \quad (2)$$

C_{we} 为等效水电导率，其表示式为

$$\phi_w C_{we} = \phi_{wf} C_{wf} + \phi_{wb} C_{wb} \quad (3)$$

根据定义

$$\phi_w = \phi_{wf} + \phi_{wb} \quad (4)$$

$$S_{wb} = \frac{\phi_{wb}}{\phi_t} \quad (5)$$

$$S_{wt} = \frac{S_{wt}}{\phi_t} \quad (6)$$

$$S_{wt} = \frac{\phi_w}{\phi_t} = \frac{\phi_{wf} + \phi_{wb}}{\phi_t} = S_{wb} + S_{wf} \quad (7)$$

于是 C_{we} 式可改写为

$$C_{we} = C_{wf} + \frac{S_{wb}}{S_{wt}} (C_{wb} - C_{wf}) \quad (8)$$

把它代入 (1) 式，得到

$$C_t = \frac{S_{wt}^n}{F} \left[C_{wf} + \frac{S_{wb}}{S_{wt}} (C_{wb} - C_{wf}) \right] \quad (9)$$

又据定义

$$C_{wa} = F \cdot C_t = \frac{a \cdot C_t}{\phi_t^m} \quad (10)$$

可把方程式 (9) 写为

$$C_{wa} = S_{wt}^n \left[C_{wf} + \frac{S_{wb}}{S_{wt}} (C_{wb} - C_{wf}) \right] \quad (11)$$

如果以 $n = 2$ 作 C_{wa} 与 S_{wb} 的关系图，大家就最易理解方程式 (11) 的含意了。参看图 2a，首先对 $S_{wt} = 1$ 或 100%，结果是 $(C_{wf}, 0)$ 和 $(C_{wb}, 1.0)$ 之间的一条直线。其次，如果 $S_{wb} = 0$ ，结果是 $(C_{wf}, 0)$ 至 $(0, 0)$ 的直线。第三，如果 $S_{wt} = 0$ ，结果是从 $(C_{wb}, 1)$

到 (0, 0) 的双曲线。总体结果是一个表示边界条件的准三角形。

利用方程式(11), 并假定 $n=2$, 可以表明等总含水饱和度线是图 2-b 所示的一组直线相类似的是, 等自由水饱和度线是图 2-c 所示的一组双曲线, 等束缚水饱和度线是图 2-d 所示的一组垂直线。(C_{wt}, 0), (0, 0) 和 (C_{wb}, 0) 三点分别是自由水点、烃点和束缚水点。

自然伽玛或自然电位等束缚水指示曲线的研究表明, 它们的趋势吻合该准三角形。图 3 是基本含水层段 GR/ ϕ_t 的例子。它意味着, 在含水层中二级束缚水指示参数可以相对一级指示参数作刻度。束缚水指示参数的计算和刻度将在“S_{wb} 计算”一节中讨论。观察束缚水指示参数与 C_{wa} 的关系应当清楚看到, 这些指示参数是特别相对于 100% 含水层电阻率作刻度的。

计算 S_{wt} 的第一步用方程式(10)表示, 它把测量的 C_t(1/R_t) 用总孔隙度/地层因素转换式转换成 C_{wa}。

中子—密度测井分析

根据中子和密度测井资料的分析可求出总孔隙度。在 ϕ_D 与 ϕ_N 的交会图上 (图 4-a) 有三个参考点可用于确定 ϕ_t : 纯骨架点 (0, 0), 视干粘土点 (ϕ_{dcN} , ϕ_{dcD}) 和水点 (1, 1)。在图 4-a 上分别标为 A, B 和 C 点。在图上总孔隙度线是骨架和干粘土线 AB 的平行线。当然, AB 线为总孔隙度等于零的线。通过水点 C 的总孔隙度线为 100% 或 1。其余的总孔隙度线在 100% 线和 0% 线之间线性比例排列, 用下式表示:

$$\phi_{tND} = \frac{\phi_D \cdot \phi_{dcN} - \phi_N \cdot \phi_{dcD}}{\phi_{dcN} - \phi_{dcD}} \quad (12)$$

式中 ϕ_D 和 ϕ_N 是选定岩石骨架的数值 (分析人员输入 RHGS), ϕ_{dcN} 和 ϕ_{dcD} 是视粘土点的座标 (也是分析人员的输入)。可以用新岩性密度测井仪来选择岩性。

在计算 ϕ_t 之前, 要检查中子和密度测井数据, 看它们是否适合于模型; 必要时, 是否作了校正。象由于坏井眼的影响或油气影响, 就有必要作这类校正。图 5 表示, 根据上述考虑大体上是如何调整数据的。

在按上述方法计算出初始 ϕ_t 后, 其数值可以变化。当你看了本文后面介绍的程序流程图后, 会更明显认识到这一点 (参看图 6)。

利用声波测井资料

利用亨特·雷姆 (Hunt-Raymer) 换算式可计算出声波测井总孔隙度 (ϕ_{tSONIC})

$$\phi_{tSONIC} = 0.625 \left[1 - \frac{t_{ma}}{t} \right] \quad (13)$$

该程序应用简单的测试: 是否 $\phi_{SONIC} < \phi_{tND}$? 如果答案是肯定的, 程序把 ϕ_{SONIC} 当作初始 ϕ_t 。假设的条件是: 坏井眼增大了 ϕ_{tND} , 坏井眼的影响已作了校正。如果答案是否定的, 则 ϕ_{tND} 是初始 ϕ_t 。

把中子—密度读数与 S_{wb} 联系起来

利用 ϕ_D 与 ϕ_N 的交会图可以找出干粘土体积的表示式。图 4-b 表示给定的 P 点, 其粘土类型和体积与 S_{wb} 之间的关系。

$$S_{wb} = \frac{V_{dc}(P)}{V_{dc}(D)} \cdot \frac{\phi_t(D)}{\phi_t(P)} \quad (14)$$

式中 $V_{dc}(P)$ 为 P 点的干粘土体积, $\phi_t(D)$ 为 D 点的总孔隙度, 等等。可以用该式表示, 等束缚水饱和度线都是从原点发散出来的。参看图 4-c。这些结果都是从附录 A 中得出来的, 它提供了 VOLAN 程序中建立 ϕ_N 和 ϕ_D 与 S_{wb} 关系的表示式

$$S_{wbND} = 1 - \frac{\phi_{eND}}{\phi_{tND}} \quad (15)$$

式中 ϕ_{eND} 是对 P 点作水、骨架和湿粘土体积分析确定出来的。

S_{wb} 的 计 算

VOLAN 程序集中利用了各种 S_{wb} 指示参数, 然后利用称为霍其士·莱赫曼 (Hodge Lehmann) 估算技术统计选定最后的 S_{wb} 。

霍其士·莱赫曼估算技术利用选好的指示值来求出 S_{wb} 值。该法是计算出所有可能的二元和平均值, 然后找出中间值(参看附录 B)。

现有八个可能的 S_{wb} 指示参数:

1. 自然伽马;
2. 按总孔隙度标准化的自然伽马;
3. 自然电位;
4. 中子—密度;
5. 声波—密度;
6. 电阻率;
7. 电磁传播测井;
8. 另外计算出来的 S_{wb} 。

所用的公式是:

$$S_{wbGR} = \frac{GR - GRF}{GRB - GRF} \quad (16)$$

式中, F 表示纯地层的 GR 值, B 表示泥岩中的 GR 值。

$$S_{wb}(GR/\phi_t) = M \left[\frac{GR}{\phi_t} \right] + B \quad (17)$$

式中, M 和 B 是用中子—密度或电阻率资料用统计回归法求出的。

$$S_{wbSP} = \frac{10^{SP/K} \cdot C_{mf} - C_{wt}}{\frac{S_{xot}}{S_{wt}} (C_{wb} - C_{wt}) - 10^{SP/K} (C_{wb} - C_{mf})} \quad (18)$$

很明显 SP 指示值是反复渐近的。其初始计算假设 $S_{wt} = 1 = S_{xot}$ 。进一步的 S_{wt} 和 S_{xot} 计算给出较好的 S_{wb} 值。

$$S_{wbND} = 1 - \frac{\phi_{wcND}}{\phi_{tND}} \quad (19)$$

$$S_{wbSONIC-D} = \frac{1 - \frac{\phi_D}{\phi_{SONIC}}}{1 - \frac{\phi_{WCD}}{\phi_{WCSONIC}}} \quad (20)$$

$$S_{wb} = S_w \left[\frac{C_{wc} - C_{wf}}{C_{wb} - C_{wf}} \right] \quad (21)$$

$$S_{wb \text{ EPT}} = (C_{\text{EPT}} - \phi_{\text{EPT}} \cdot C_{mf \text{ EPT}}) / [\phi_t (C_{wb \text{ EPT}} - C_{mf \text{ EPT}})] \quad (22)$$

式中 C_{EPT} 是程序计算出来的, 是 t_{po} 与衰减的乘积。 $C_{mf \text{ EPT}}$ 和 $C_{wb \text{ EPT}}$ 是电磁传播测井测得的泥浆滤液和束缚水的电导率。 ϕ_{EPT} 是 EPT 计算出的孔隙度。

$$t_{po} = \sqrt{t_{p1}^2 - \frac{A_c^2}{3604}}$$

传播时间 t_{p1} 是 EPT 仪器测出的。计算机对它作了校正成无损耗传播时间, 变成 t_{po} 。SP 指示参数必须作 S_{xo} 计算。进行可动油、含气饱和度、油气校正等也要求作 S_{xo} 计算。

S_{xot} 的 计 算

S_{xot} 用三种方法之一进行计算。几种计算之中有优先选择。如果有电磁传播测井资料, S_{xot} 的计算式为

$$S_{xot} = \frac{t_{po} - \phi_t t_{pb} - (1 - \phi_t)(t_{pma})}{\phi_t(t_{pwo} - t_{pb})} \quad (23)$$

式中, t_{po} 是校正后的 EPT 测量值。 ϕ_t , t_{pb} , t_{pwo} 和 t_{pma} 是程序计算出来的。

如果有 R_{xo} 资料, 但没有 EPT 资料, 所用的表达式为

$$C_{xo} = \frac{\phi_t^m}{A} [S_{xot}^n C_{mf} + S_{xot}^n - 1 S_{wb} (C_{wb} - C_{mf})] \quad (24)$$

最后, 如果没有 EPT 或 R_{xo} 测量, S_{xo} 根据另一公式计算, 该式中 S_{xo} 是 S_{wt} 的函数。只有有 R_{xo} 或 EPT 测量时, 才可计算出可动油的体积比例。

程 序 流 程

图 6 中画出了程序流程, 这是在 DWS 程序块中计算的。图 7 中画出了完整的程序块链结图。在 DWS 程序块中, 对数据作坏井眼影响等校正; 计算初始 ϕ_t ; 用声波资料检验坏井眼条件; 计算出初始 S_{wb} 、 S_{wt} 、 S_{xot} 等等; 检查计算出的 C_{wa} 和 S_{wb} 在模型的范围内, 如有需要就作校正; 对 ϕ_t 作重矿物和油气校正; 然后重新计算出 S_{wb} 、 S_{wt} 、 S_{xo} 等。

在程序的最后阶段计算体积答案, 它们是: 干粘土的体积

$$V_{dc} = \frac{S_{wb} \phi_t \cdot V_{dc}(\text{湿粘土点})}{\phi_t(\text{湿粘土点})} \quad (25)$$

湿粘土体积

$$V_{wc} = V_{dc} + S_{wb} \cdot \phi_t \quad (26)$$

粉砂体积

$$V_{SL} = 1 - \phi_t - V_{dc} - V_{ma} \quad (27)$$

骨架体积

$$V_{ma} = \frac{\phi_c(1 - \phi_{max})}{\phi_{max}} \quad (28)$$

有效孔隙度

$$\phi_e = (1 - S_{wb})\phi_t \quad (29)$$

有些油气被驱赶后的自由水

$$\phi_{wfxo} = \phi_e \cdot S_{xo} \quad (30)$$

地层的原始自由水

$$\phi_{wf} = \phi_e \cdot S_{we} \quad (31)$$

计算出总体积以后, 取决于有无岩性密度资料, 可把骨架分成二个或三个组份。如果有资料, 骨架部分可以分成三个组份, 组份内容由分析人员选定。如果只有中子—密度测井资料, 则骨架分成二个组份。

走完了 DWS 程序块以后, 用另一个称为 PERMS 的程序块计算渗透率。最终成果示于图 8 和图 9。图 8 具有较高的孔隙度, 有效孔隙度流体分析示于第 5、第 6 轨。图 9 的例子具有较低的孔隙度, 为了获得较好的分辨率, 有效孔隙度流体分析放在第 4 轨中。

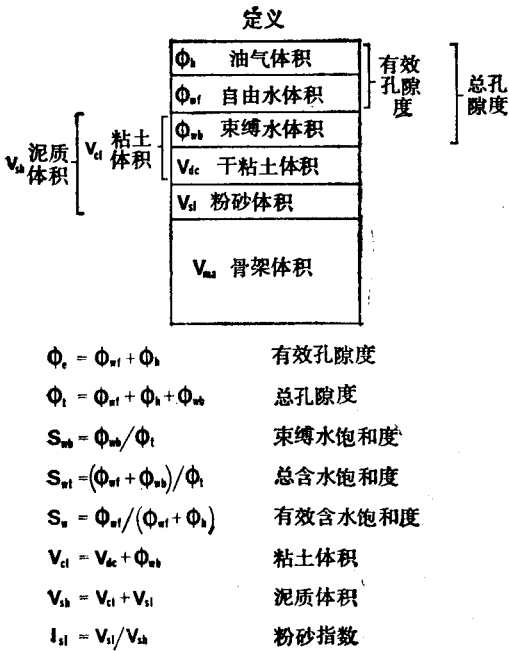


图 1 C_{wa} 与 S_{wb} 关系图

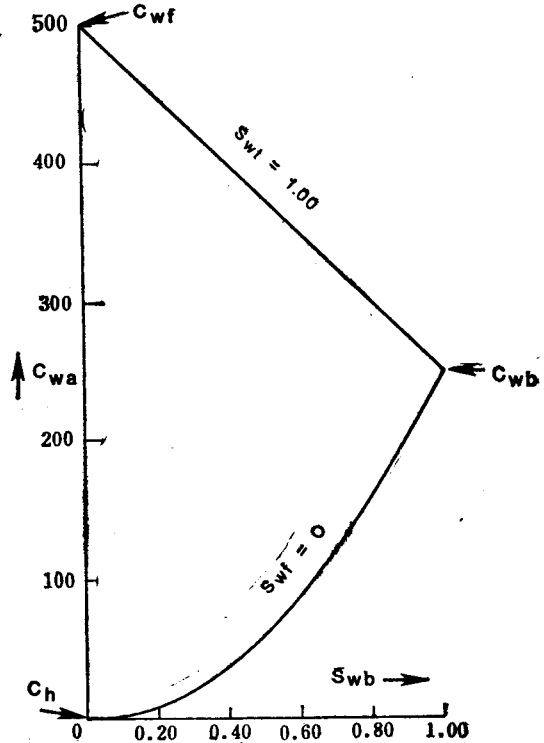


图 2-a C_{wa} 与 S_{wb} 关系图

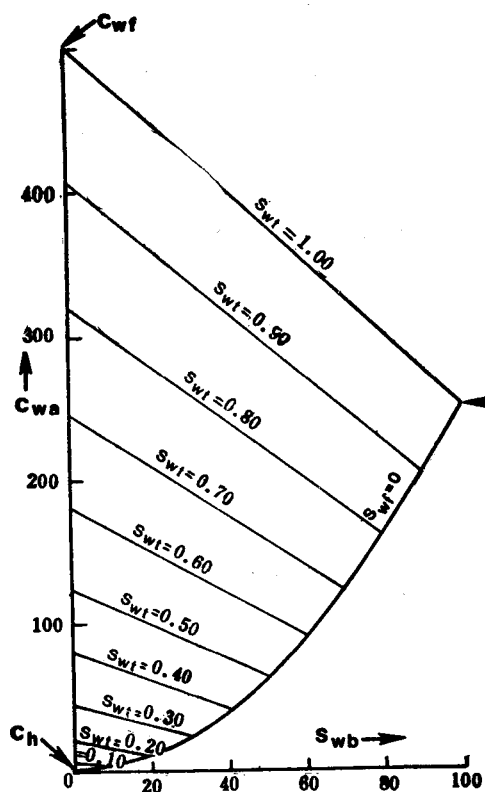


图 2-b C_{wa} 与 S_{wb} 关系图

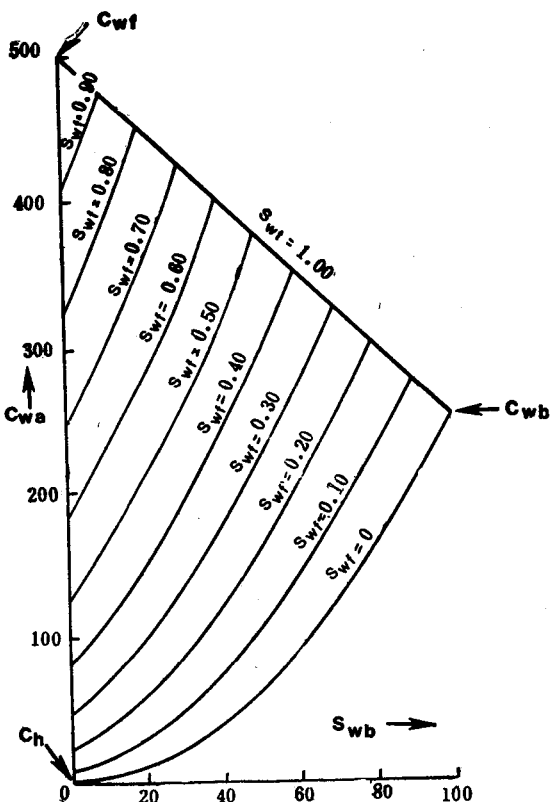


图 2-c C_{wa} 与 S_{wb} 关系图

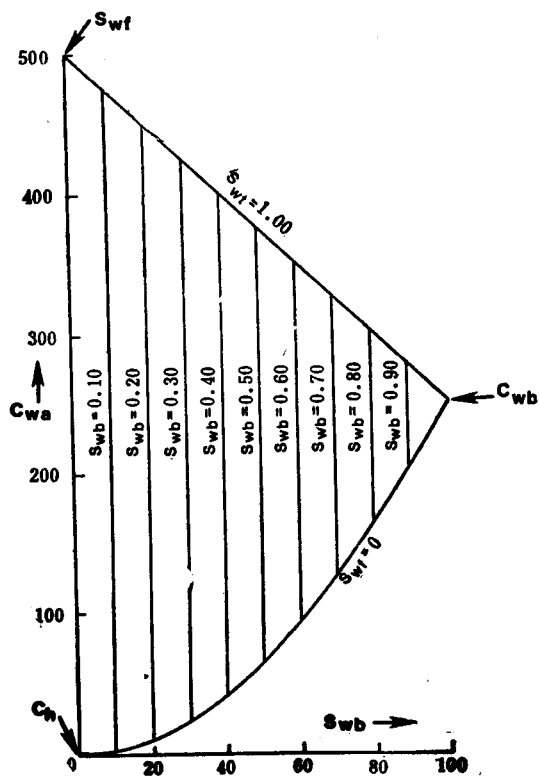


图 2-d C_{wa} 与 S_{wb} 关系图

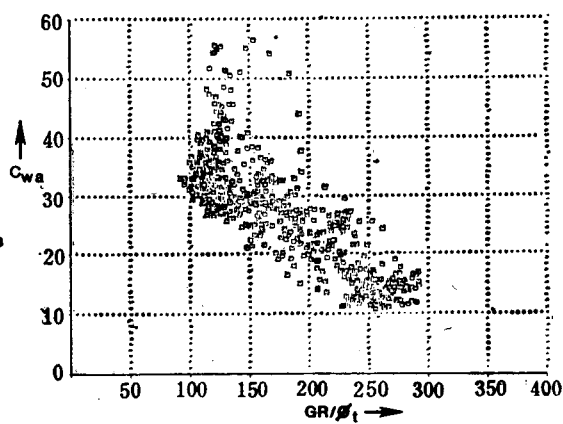


图 3 GR/ϕ_t 与 C_{wa} 关系图

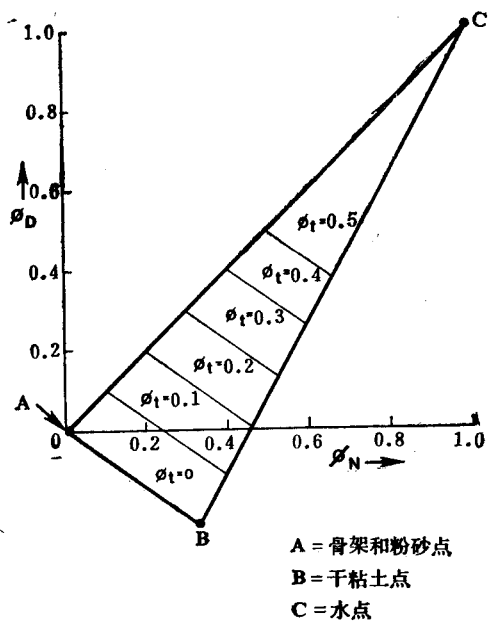


图 4-a 根据 (ϕ_N, ϕ_D) 计算总孔隙度

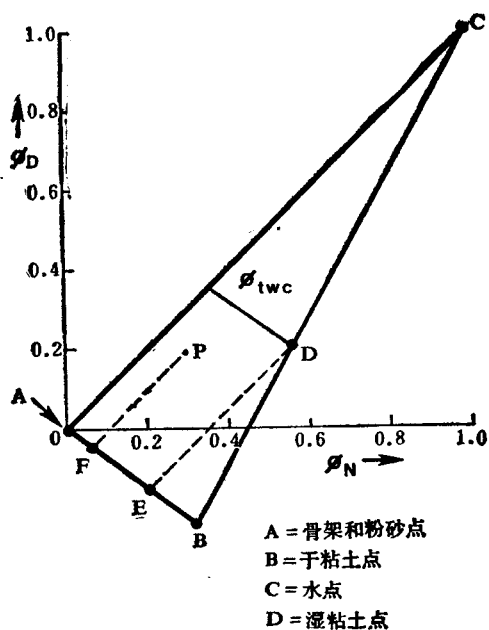


图 4-b 根据 (ϕ_N, ϕ_D) 计算总孔隙度

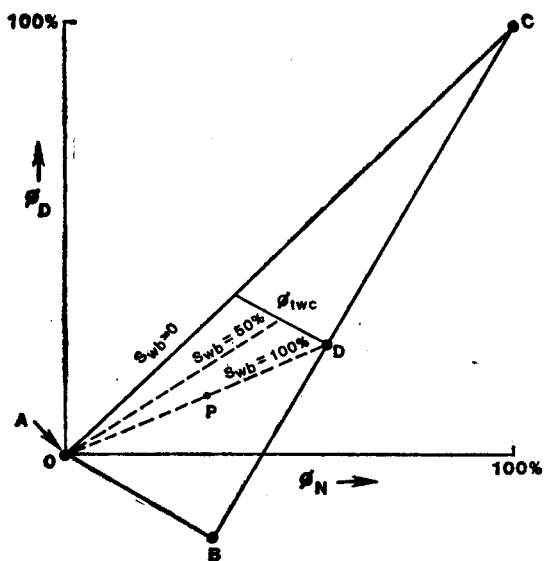


图 4-c 根据 (ϕ_N, ϕ_D) 计算总孔隙度

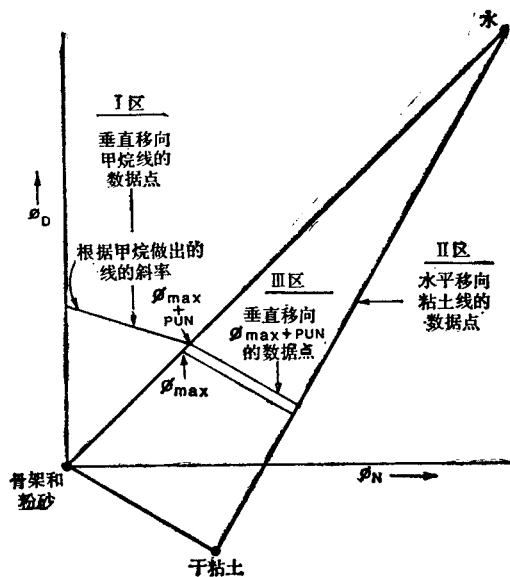


图 5 密度—中子测井靠不住的数据点区域

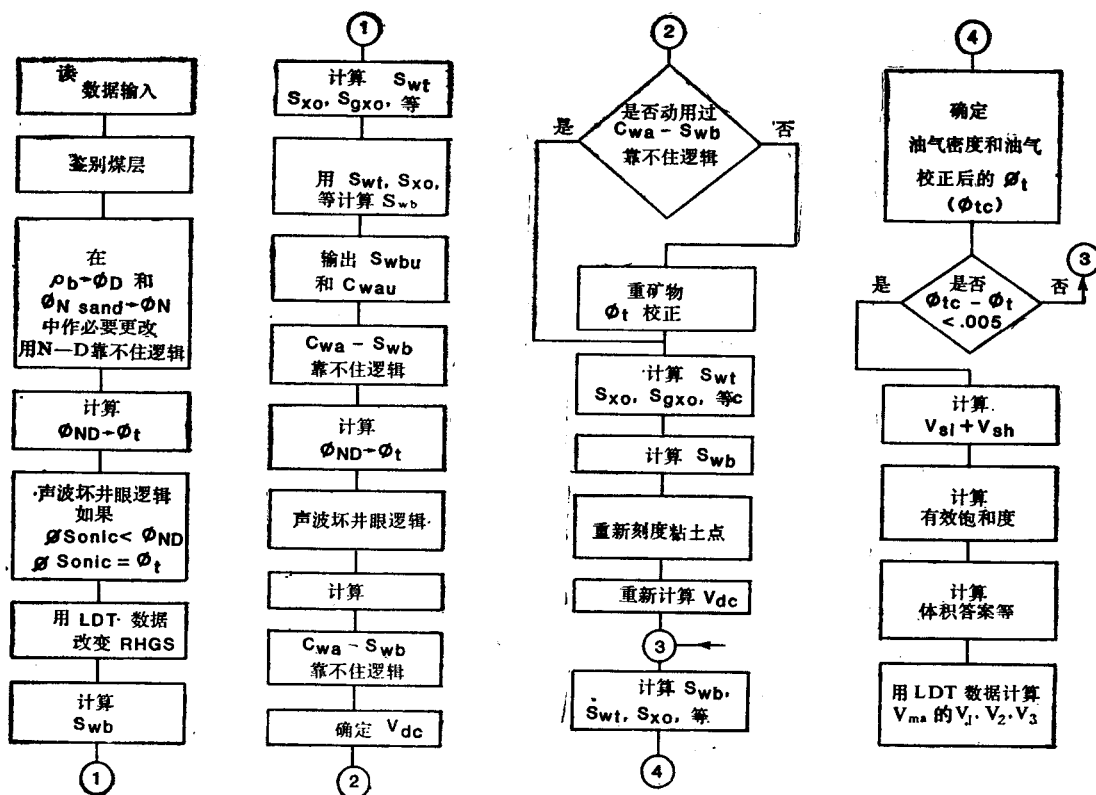


图 6 程序流程图

VOLAN 程序的计算机处理解释环节

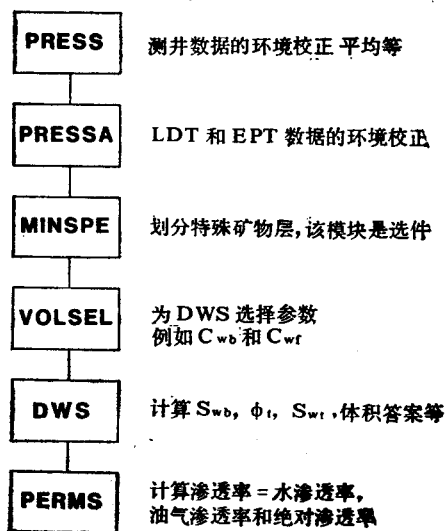


图 7 程序块链结图

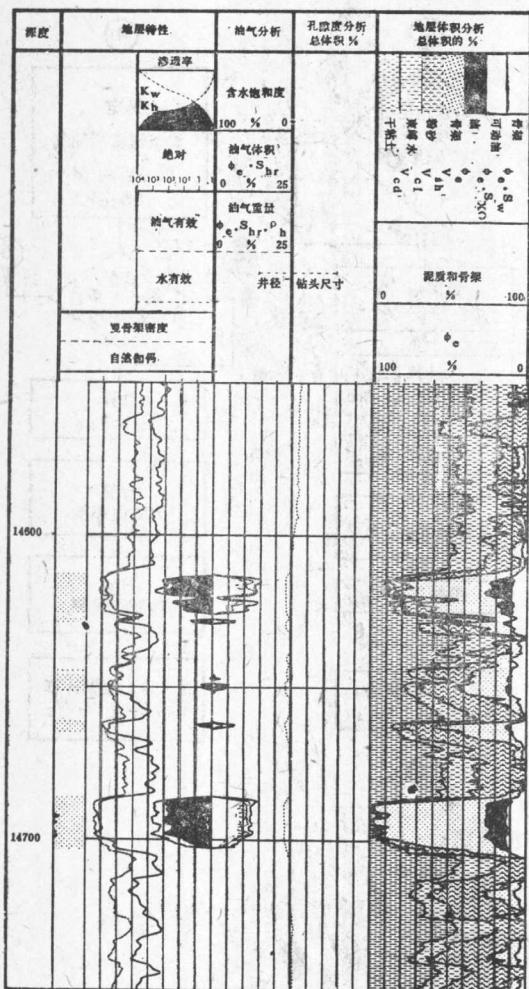


图8 高孔隙度成果图

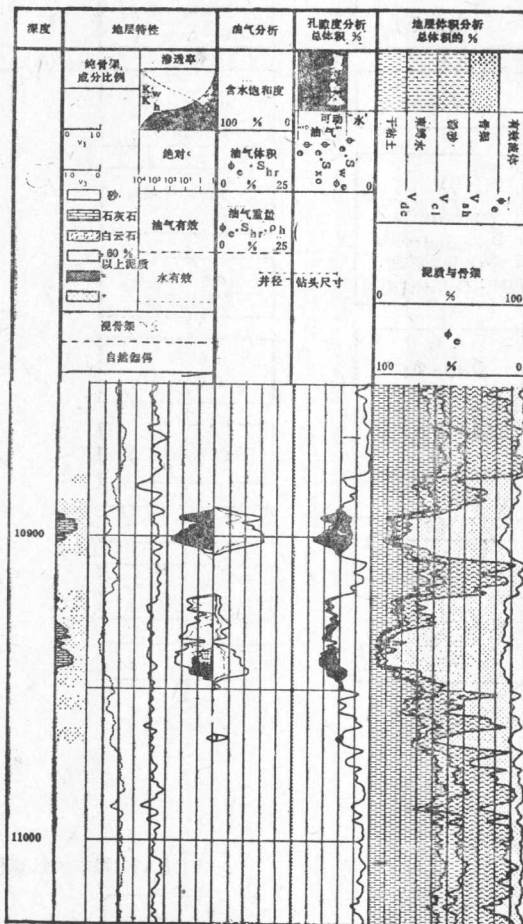


图9 低孔隙度成果图

附录 A

根据定义:

$$S_{wb} = \phi_b / \phi_t$$

$$\phi_b = V_{wc} - V_{dc}$$

于是, 从图 2-b 可以看出:

$$V_{wc} = \frac{AF}{AE} = \frac{AF}{AB} \cdot \frac{AE}{AB} = \frac{V_{dc}(P)}{V_{dc}(D)} \quad (A1)$$

重写可得:

$$\phi_b = V_{wc} - V_{dc} = \frac{V_{dc}(P)}{V_{dc}(D) - V_{dc}(P)} \quad (A2)$$

$$\phi_t(D) = 1 - V_{dc}(D) \quad (A3)$$

因此

$$\phi_b = \frac{V_{dc}(P)\phi_t(D)}{V_{dc}(D)} \quad (A4)$$

而

$$S_{wb} = \frac{V_{dc}(P)}{V_{dc}(D)} \cdot \frac{\phi_t(D)}{\phi_t(P)}$$

再进一步, 可以利用方程 1 和 4 得到

$$S_{wb} = V_{wc}(P) \frac{\phi_t(D)}{\phi_t(P)} \quad (A5)$$

如果 P 点与 D 点在同一条总孔隙度线上, $\phi_t(D) = \phi_t(P)$, 于是 $S_{wb} = V_{wc}$ 。

然后, 如果 P 在 DG 线上, $S_{wb} = V_{wc}$ 。

从方程 5 开始, 使 S_{wb} 为常数 C, 则

$$C = V_{wc}(P) \frac{\phi_t(D)}{\phi_t(P)} \quad (A6)$$

$$C\phi_t(P) = V_{wc}(P)\phi_t(D) \quad (A7)$$

$$V_{wc}(P) = \frac{C}{\phi_t(D)}\phi_t(P)$$

$\phi_t(D)$ 为一常数

因此

$$V_{wc}(P) = C\phi_t(P)$$

在 AC 和 AB 为坐标轴形成的非直角坐标系中这是一直线方程。

附 录 B

霍其士·莱赫曼 (Hodges-Lehmann) 估算法

考虑到有六个数 $M_1, M_2, \dots, M_6$ 。假设这些数是同一深度不同方法计算出的 S_{wb} 。第一步是计算出所有的二元对, 并除以 2。

$$\frac{M_1 + M_1}{2} = P_{11}$$

$$\frac{M_1 + M_2}{2} = P_{12}$$

$$\frac{M_1 + M_6}{2} = P_{16}$$

$$\frac{M_2 + M_2}{2} = P_{22}$$

$$\frac{M2 + M3}{2} = P23$$

$$\frac{M6 + M6}{2} = P66$$

对六个数来说，二元对的总数是 21 个。

$$M + (M - 1) + (M - 2) + \dots + 1$$

21 个数的平均值是原始六个数利用霍其士·莱赫曼技术的估算值。例如有一组偶数的数，当把这些数从高到低排好时，其平均值为二个中间数值的算术平均值。

利用霍其士·莱赫曼估算值的主要效果是：该数值（平均值）是不受外界数值明显影响的。因此，当有足够多的一批数时，一个坏测量结果的影响是不大的（我们从经验发现，一般四个样就足够了）。关于霍其士·莱赫曼估算法的进一步资料请看参考文献 10 至 12。

考 参 文 献

1. Poupon, A., Clavier, C., Dumanoir, J., Gaynard, R., and Misk, A., 1970, Log Analysis of Sand-Shale Sequences—A Systematic Approach: Journal of Petroleum Technology, v. 249, pp. 867-881.
2. Waxman, M. H. and Smits, L. J. M., 1968, Electrical Conductivities in Oil-Bearing Shaly Sands: Society of Petroleum Engineers Journal, June.
3. Waxman, M.H. and Thomas, E.C., 1974, Electrical Conductivities in Shaly Sands: Society of Petroleum Engineers Journal, February.
4. Smits, L. J., 1968, SP Log Interpretation in Oil-Bearing Shaly Sands: Society of Petroleum Engineers Journal, June.
5. Clavier, C., Coates, G., and Dumanoir, J., 1977, The Theoretical and Experimental Bases for the Dual Water Model for the Interpretation of Shaly Sands: Society of Petroleum Engineers of AIME 52nd Annual Fall Technical Conference and Exhibition, paper 6859, October, Denver, Colorado.
6. Coates, G., Boutemy, Y., and Clavier, C., 1981, A Study of the Dual Water Model Based on Log Data: Society of Petroleum Engineers 56th Annual Fall Technical Conference, paper 10104, October, San Antonio, Texas.