

测井分析家协会 第47届年会论文集

大庆油田测井公司 编译



SPWLA



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

测井分析家协会 第47届年会论文集

大庆油田测井公司 编译

石油工业出版社

内 容 提 要

测井分析家协会第 47 届（2006 年）年会上，各国学者共发表论文 97 篇。本文集共收录其中 35 篇论文，主要包括测井资料的地质应用、碎屑岩评价技术、地层测试和取样、核磁共振测井、声波测井、核测井、电法测井、随钻测井、储层评价、储层描述以及岩石物理性质等方面的内容。

本书可供地质、测井工程技术人员及科研人员参考，也可供大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

测井分析家协会第 47 届年会论文集 / 大庆油田测井公司编译.
北京: 石油工业出版社, 2007.12

ISBN 978-7-5021-6342-6

I. 测…

II. 大…

III. 测井-文集

IV. P631.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178468 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北天普润印刷厂

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 27.5

字数: 700 千字 印数: 1—2000 册

定价: 100.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《测井分析家协会第 47 届年会论文集》

编译委员会

主任：王宏建

副主任：陈国华

委员：于亚娄 刘甲辰 王伟男 李庆丰 王建民

燕守斌 彭会忠 张东昌 闫百章 崔杰

赵平

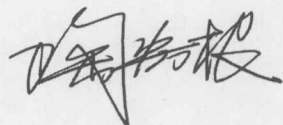
序 言

每年6月由SPWLA（国际岩石物理学家与测井分析家协会）主办的年会和展览会云集了来自全球一流的地球物理学家和测井专家，年会上所发表的论文基本上代表了当今测井技术发展水平，反映了测井技术的发展趋势。2006年6月，第47届职业测井分析家年会在墨西哥的韦拉克鲁斯召开。年会上宣读论文35篇，张贴论文59篇，30多家公司展示其新产品。中国石油天然气集团公司组团参加了会议。

我国测井界对年会论文非常重视，从20世纪80年代开始就陆续组织人员对年会论文进行翻译，实践证明，这些译文可以给我们创新性地开展测井技术研究工作带来许多启示，避免了走许多弯路，对指导测井科研和生产工作起到了积极的作用。为了充分发挥这些论文的作用，本着引进与消化并重，针对国内测井技术发展的实际，大庆测井公司技术委员会对所有论文进行了反复筛选，从中选出35篇论文进行了全文翻译，由石油工业出版社正式出版。

当今世界科技发展一日千里，新技术、新方法层出不穷。我们只有不断地武装自己，大胆借鉴，勇于创新，才能缩短我们和世界先进国家的差距，屹立于测井技术强者之林。我们愿与国内测井同行共同努力，为我国测井事业的发展作出新贡献。

大庆油田测井公司经理



2007年8月

目 录

通过有效综合 NMR、电阻率和孔隙度测井数据预测气砂产能	(1)
利用测井资料的小波变换识别砂泥岩和碳酸岩储层的流体	(18)
泥质砂岩 Waxman - Smits 电导率模型的孔隙级分析	(32)
三维阵列感应测井仪在 Trinidad 西部群岛北面沿海海域油田开发中的应用	(42)
致密含气砂岩的综合岩石物理模型	(54)
一种新型低污染地层测试器采样管的设计	(65)
高温高压油基钻井液探井综合地层评价技术——随钻地层压力、电缆地层测试、流体 取样技术的综合应用	(78)
根据声激发磁场梯度 NMR 测井确定流体流动特性	(91)
应用核磁共振进行黏度预测新方法	(99)
利用核磁共振测井评价致密含气储层	(113)
重新评价原油黏度和 NMR 测量之间的相关性	(125)
核磁共振与电缆地层测试器数据相结合提供可靠的地层评价和烃类性质检测结果	(141)
利用核磁共振表面弛豫各向异性预测渗透率	(156)
利用最新的多维 NMR 技术确定储层石油产量和估算烃黏度的新方法	(172)
泥岩和黏土的电性、介电特性和核磁共振研究	(184)
岩心和测井资料的综合是确定测井相的关键	(200)
评价围岩、侵入和薄层对井眼声波测井的影响：一种数值灵敏度研究	(211)
声波技术评价天然张开裂缝的新进展	(225)
利用井眼声波数据评价地层各向异性	(232)
应用蒙特卡罗数据库与最小二乘法改进碳氧比仪器	(238)
一种符合计数的概念碳氧比仪器设计	(243)
水平及垂直井中薄互层的随钻密度测井响应	(253)
大斜度井和水平井中 LWD 放射性测井仪器响应的现场分析和标准研究	(267)
大斜度井况下环境和岩性对密度及中子孔隙度测井的影响	(288)
泥质砂岩和碳酸盐岩储层常规测井、多分量感应及核磁响应资料数值综合的新方法	(297)
一种新的基于阵列电阻率资料多级标定反演的地层成像技术	(313)
综合多传感器声波测井资料和电阻率资料改善钻井诱导裂缝地层的评价	(324)
采用一种新的微电阻率极板装置估算冲洗带参数和泥饼参数	(338)
根据多频介电常数测量求取地层性质	(347)
介电常数对感应测井影响的观察	(357)
岩石物性、环境及几何参数对大斜度井多分量感应测井的影响	(369)
电导率、孔隙度和含水饱和度之间的关系：阿尔奇经典模型的改进	(378)
基于与介电无关的电阻率或参数自选电阻率的随钻传播电阻率测井侵入处理技术	(397)
改善数据质量、提高密封效率和缩短测试时间的第二代 LWD 地层压力测试器	(407)
先进的 LWD 测量在水平井中的解释与应用	(418)

通过有效综合 NMR、电阻率和孔隙度 测井数据预测气砂产能 (I)

Scott Jacobsen Dale May Jeff Grant Jeff Little

赵平译 丁柱校

摘要: 在美国老的含气储层区块中,有效的完井技术不仅依赖于储层中气体体积的准确评价,还依赖于后来的增产措施是否产水,产气量是多少。传统上,该项评价的中心任务是计算孔隙度和含水饱和度。

然而,含水饱和度 (S_w) 是地层内储层流体特性的静态评价参数,并不足以用来指示这些流体的产出能力(含水饱和度谱到达极点时除外)。

为了在一次测井过程中很准确地预测整个测井层段的油气产量和产水量,开发出了一项可以提高常规地层评价水平的解释技术——核磁共振(NMR)、电阻率和孔隙度资料综合评价技术。解释成果给出流动剖面,它基本上可作为预完井裸眼井生产测井资料。与后期的套管井生产测井比较,从而评估增产措施的有效性和影响再完井的决策。它也为日后储层历史拟合模拟提供资料。

该项技术被广泛用于美国大陆和海上环境的含气(和含油)储层。该项分析效率高,通过所得的信息可及时让作业者进行完井决策。

引言

今天,大多数经营者钻井时常使用由电阻率和孔隙度测井得出的含水饱和度,再据其估算产层厚度并确定完井层段和增产层段。无论饱和度值极高还是极低,该方法都能可靠地预测水和油气的各自主要产量。但含水饱和度值介于 40%~70% 之间时,产能预测必须依靠常常被证明为不准确的经验、油田特定的截止值,从而导致决策失误,产水过多。Dodge 等(1998 年)描述了一项南得克萨斯 Vicksburg 砂岩气储层的研究成果,内容是计算的含水饱和度变化范围为 30%~70%,但仍产无水的气。因此,为了帮助确定可能的产水量,确定束缚水饱和度已成为产量预测过程的一个关键因素。

基于测井曲线解决该问题的方法是增加 NMR 测井资料,用其定量评价束缚流体和自由流体体积,进而求取束缚水饱和度。对比束缚水饱和度和总含水饱和度可以判断是否产水。Dodge 等(1998 年)在他们的工作中很好地利用了该项技术。这是含水饱和度截止值解释法的正确应用。考虑到水相和气相相对流度的物理性质,我们试图在这方面进行改善。得益于相对流度的影响,测井解释实现了从静态向动态解释的质的飞跃。

该项技术的核心是利用相对渗透率的计算(值)得出基于测井曲线的含气量或含水率的逐级预测(值)。测井资料提供三个主要的地层饱和度输入值:原生或原始水、束缚水和残余气。

关键问题是正确综合电阻率、NMR 和孔隙度测井资料。对比密度与 NMR 的气灵敏度以得出与岩性无关的气体校正孔隙度和冲洗带含气饱和度。冲洗带含气饱和度可以被解释为

残余气饱和度。根据从电阻率资料反演得出的地层真电阻率 (R_t) 进行全矿物分析, 然后给出最佳的原始含水饱和度值。根据 NMR 得出的浅饱和度和根据 R_t 得出的深饱和度可对分析进行一致性检验, 根据 NMR 束缚流体得出不可动水饱和度。残余气和不可动水饱和度值可以确定相对渗透率。根据矿物分析, 把正确的原始水饱和度值输入到这些曲线中, 就会得到每个测井点两相介质的相对气体渗透率和水渗透率。然后用以压力、体积和温度关系为基础的流体黏度估算值计算相对流度比, 并最终给出基于测井曲线的产水量的预测值。按深度给出的水和气的相对流度有效地提供了完井前的产出剖面预测。这有助于确定完井细则, 提供产量基线百分比剖面。在井的整个生产期间, 该剖面可与类似的生产测井流量解释相比较。如果给出其他的压差、储层半径、趋肤效应等储层参数, 并详细说明完井细则, 那么就可直接把程序用于地面产能评价预测的节点分析。

1 分流量或含水率

处理的最终结果就是给出储层的每个测井层初始产量分流量或含水率。继 Ramakrishnan 和 Wilkinson (1996) 之后, 我们也采用其计算式 (1):

$$f(S) = \frac{\frac{K_{ra}(S)}{\mu_a}}{\frac{K_{ra}(S)}{\mu_a} + \frac{K_{rg}(S)}{\mu_g}} \quad (1)$$

式中 $f(S)$ ——任何给定的饱和度下的分流量函数/含水率函数;

$\frac{K_{ra}(S)}{\mu_a}$ ——饱和状态下的水和水相流度。

分流量描述了任何给定饱和度情况下的水流量与总流量的比。分流量曲线一般用于描述在井服役期间, 饱和度随产量变化时, 井内产出流体的相对速度。在处理时, 我们在完井前及时输入储层流体饱和度, 这样就能推导出所谓的原始产水量预测值。

我们分两步推导式 (1) 中的相对流度相。第一步, 在每一深度上确定渗透率特性; 第二步, 计算井内的气体和水的黏度值。我们选择的相对渗透率特性是 Coates 和 Denoo (1981) 所采用的整套公式的修正版。该公式起初以 Jones (1945) 和 Naar 等 (1962) 提出的关系为基础, 最近又融合了 Li 和 Horne (2002) 的最新概念。

其他的作者 (Altunbay 等 2001, 2002) 通过刻度, 逐级把 NMR T_2 分布转换成与含水饱和度对应的毛管压力 (p_c), 然后, 再根据 Corey - Burdine 公式转换成相对渗透率。这种方法极有趣, 但由气储层的 T_2 转换成 p_c 存在问题, 此时, 我们并没有选用此方法。

2 相对渗透率方法

式 (2) 和式 (3) 为我们采用的相对渗透率模型:

$$K_{rw} = \left[\frac{(S_w - S_{wirr})(1 - S_{gr})}{1 - S_{wirr} - S_{gr}} \right]^3 \quad (2)$$

$$K_{rg} = \frac{(S_g - S_{gr})^5 (2S_w + S_g - S_{gr} - 2S_{wirr})}{(1 - S_{wirr} - S_{gr})^5} \quad (3)$$

式中 K_{rw} 和 K_{rg} ——气和水的渗透率；

S_w ——含水饱和度；

S_{wirr} ——束缚水饱和度；

S_g ——气体饱和度，等于 $1 - S_w$ ；

S_{gr} ——残余气饱和度。

通过给模型输入测井数据得出的束缚水饱和度和残余气饱和度的值，采用这一基本函数就可以连续计算储层相对渗透率。然后同时输入原始含水饱和度即可求取每个深度点上的气和水的相对渗透率。

在气体砂岩储层，束缚水饱和度和残余气饱和度参数之间的变化很大。Firoozabadi 等 (1987) 的岩心实验所得残余气饱和度值为 28%~41%；Fishlock 等 (1988) 的试验低渗透率岩心值高达 45%。Geffen 等 (1951) 测量出残余气饱和度变化范围为 15%~50%；Mulyadi 等 (2000) 描述了在岩心中实现残余气饱和度的变化范围为 28%~45% 的多种方法。Al-Kindi 和 Al-Sammakhi (2003) 报告了低孔隙度砂岩岩心残余气饱和度高达 76% 的情况。

束缚水饱和度值变换范围也很大。Wilson 和 Hensel (1982) 对 Cotton 流域砂岩进行了研究，其范围为 18%~90%。Collier (1989) 讨论了得克萨斯宾夕法尼亚纪中等孔隙度砂岩束缚水饱和度在 5%~9% 之间的情况。Webb 等 (2004) 描述了怀俄明州 Lance 地层砂岩所测岩心束缚水饱和度为 21%~72% 的情况。

在给定砂岩储层的 S_{gr} 和 S_{wirr} 如此大范围内，验证利用相对渗透率计算这些参数的灵敏度非常有趣。对于任意给定的地层水饱和度，利用式 (1)，气体和水的黏度取一些标准值，可以将这种灵敏性测试扩展到对含水率的测试。图 1 绘制出了这种灵敏性 (曲线)。

该曲线表明，就含水率预测误差而言准地计算相对渗透率的重要性。地层含水饱和度值的准确计算也同等重要。图 2 为标准的 S_{gr} 和 S_{wirr} 灵敏度曲线。一个不太成熟的结论就是最佳的完井方案和增产措施绝对依赖于根据测井数据计算 S_w 、 S_{gr} 和 S_{wirr} 的准确性。

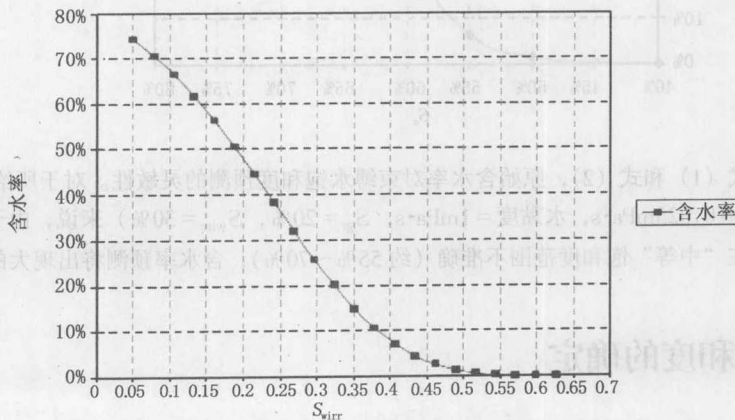


图 1a 根据式 (1) 和式 (2)，原始含水率对束缚水饱和度预测的灵敏性。对于所给图中参数 (气体黏度 = 0.025mPa·s，水黏度 = 1mPa·s， $S_w = 60\%$ ， $S_{gr} = 25\%$) 来说，由于束缚水饱和度不准确 (约为 40%)，含水率预测将出现大的误差

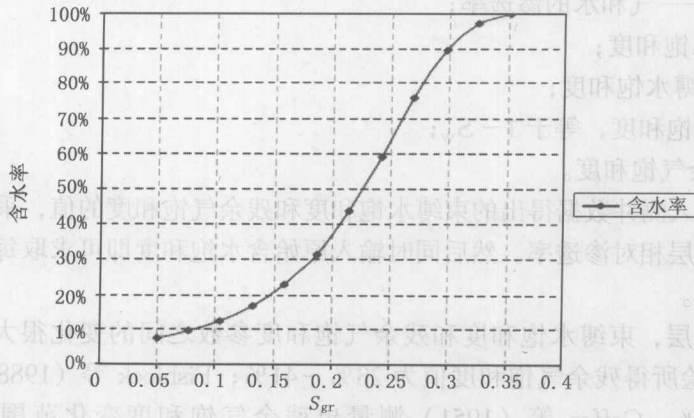


图 1b 根据式 (1) 和式 (2), 原始含水率对残余气饱和度预测的灵敏性。对于所给图中参数 (气体黏度 = 0.025mPa·s, 水黏度 = 1mPa·s, $S_w = 60\%$, $S_{gr} = 25\%$) 来说, 由于束缚气饱和度不准确 (约为 20%), 含水率预测将出现大的误差

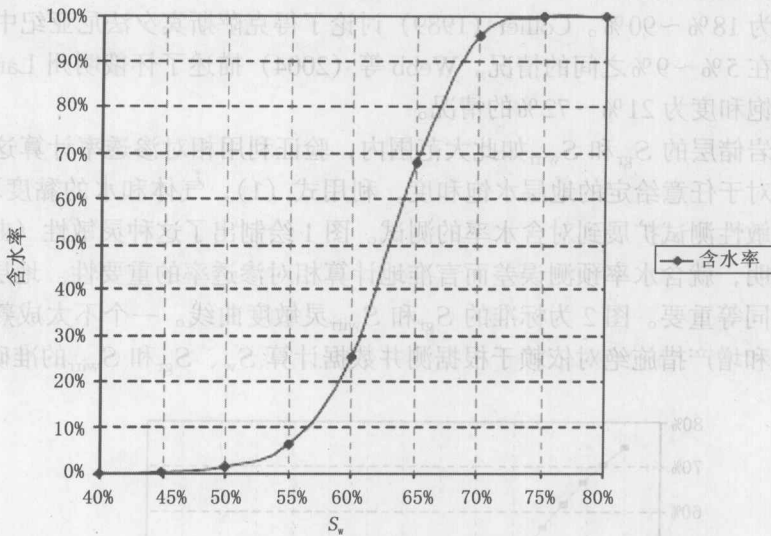


图 2 根据式 (1) 和式 (2), 原始含水率对束缚水饱和度预测的灵敏性。对于所给图中参数 (气体黏度 = 0.025mPa·s, 水黏度 = 1mPa·s, $S_{gr} = 20\%$, $S_{wirr} = 30\%$) 来说, 由于地层水饱和度在“中等”饱和度范围不准确 (约 55%~70%), 含水率预测将出现大的误差

3 束缚水饱和度的确定

如前所述, 束缚水饱和度的变化范围很大 (砂岩储层从 5%~90%), 导致含水率预测值对其极敏感。因此, 有必要根据测井资料尽可能地获得准确的估算值。现代 NMR 测井技术出现以前, 束缚水饱和度的确定要依靠于过渡带上方储层层段的识别, 过渡带是指孔隙度和含水饱和度的积不随深度变化的层段。这种方法极不适于我们所遇到的气砂层, 其含水层不明显, 过渡带不存在 (Ahmed 等, 1991)。根据 NMR T_2 分布得出的束缚流体值比用传统

方法得到的值有了明显改善。基于 Straley 等 (1991) 的工作, 在 T_2 分布中, 我们采用 33ms 的 T_2 截止值, 根据数据获得束缚流体体积 (BFV)。由于我们的解释模型假定岩石亲水, 因此, 当该值除以总地层孔隙度时, 就得到束缚水饱和度:

$$S_{\text{wirr}} = \frac{\text{BFV}}{\phi_t} \quad (4)$$

式中 ϕ_t ——地层总孔隙度, %。

T_2 截止值随地层岩石类型和岩性而变。但无其他信息时, 采用水基钻井液钻井时, 33ms 已为多数砂岩层接受。对同样的储层, 使用油基钻井液 (OBM) 时, 考虑到 OBM 表面活性剂对侵入带细小颗粒和毛细管润湿性的影响, 截止值需要调高些。

Zhang 等 (1998) 讨论了 4 个不同砂岩地层类型的 NMR 岩心测量结果。在其中两个地层, 33ms T_2 截止值适用于现场 NMR 数据。在另外两个地层中, 由于地层中富含铁的绿泥石或是包裹砂岩颗粒, 或是以黏土的形式填充孔隙, T_2 截止值已降至 18ms, 而另一种情况则下降为 15ms。因此, 对于特定储层, 有必要根据 NMR 岩心实验结果建立一个 T_2 截止值, 把其作为现场广泛使用的一个参数。

在其他情况下, 对于 NMR 测井导出渗透率来说, 可用地层测试器流度测量结果作为现场校正点。Jacobsen 等 (1998) 证明了该方法在北海砂岩地层中应用的有效性。在一些储层, 后续的 T_2 截止值已升至为 100ms, 这要归因于孔喉与孔隙体之比变化较大。

为计算 S_{wirr} , 对于每个深度都要把 NMR BFV 测井值用于式 (4)。然后, 把该参数代入式 (2) 和式 (3) 以提供确定每个层相对渗透率特性的一个量。以下要讨论的是式 (4) 中的分母—— ϕ_t 。

4 剩余气饱和度的确定

正如前面所证明过的, 原始含水率预测的准确性主要取决于剩余气饱和度的确定。与 S_{wirr} 类似, S_{gr} 变化范围也很大, 所以, 我们必须依靠准确的测井解释方法来推导 S_{gr} 。为了确定冲洗带电阻率 (R_{xo}), 现有的方法依赖于浅的或微电阻率资料或径向电阻率测井剖面的反演确定冲洗带电阻率, 然后采用饱和度公式推导冲洗带饱和度 (S_{xo})。在只产气和水的情况下, 我们设该公式等于剩余气饱和度:

$$S_{\text{gr}} = 1 - S_{\text{xo}} \quad (5)$$

基于电阻率法存在的问题是对饱和度表达式中钻井液滤液值的依赖性。Boyeldieu 和 Sibbit (1981) 描述了这种依赖性, 他们提出了一种方法, 分析出产生这一问题的原因是钻井液滤液与原生水在侵入带的混合。该技术取决于 S_{wirr} 的计算。

电阻率方法的第二个问题是不同泥质含量下气砂岩孔隙度的准确确定。常规的中子—密度—GR 测井方法可以给出地层总孔隙度。它们依赖于对中子数据进行更正确的气体和泥质含量校正。进一步讲, 这并没有考虑密度和中子测量之间探测深度的不同, 没有考虑侵入深度 (程度) 是如何影响每种仪器的响应。而且, 在 OBM 井中, 微电阻率仪器不能使用, 该方法无效。

在采用 NMR 测井资料导出 S_{wirr} 的同时, 我们已选择了采用一种基于核—NMR 方法即

密度—磁共振 (DMR)，通过推导近井眼区域含气饱和度来巧妙解决这些问题。Freedman 等首先对此进行了描述 (1998)。DMR 方法在以下两个公式中得到了具体表达。两个公式描述了密度仪和 NMR 仪在充满气水地层中的响应。

$$\rho_b = \rho_{ma} (1 - \phi_t) + \rho_f \phi_t (1 - S_{gxo}) + \rho_g \phi_t S_{gxo} \quad (6)$$

$$TCMR = \phi_t S_{gxo} HI_g P_g + \phi_t (1 - S_{gxo}) HI_f \quad (7)$$

式中 ρ_b ——地层体积密度测井值, g/cm^3 ;

ρ_{ma} ——地层骨架密度, g/cm^3 ;

ρ_f ——冲洗带流体密度, g/cm^3 ;

ρ_g ——井眼环境冲洗带气体密度, g/cm^3 ;

TCMR——总孔隙度的 NMR 测井值, %;

S_{gxo} ——冲洗带含气饱和度, %;

HI_g ——井下环境中冲洗带的含氢指数, 它是井下温度和压力的函数, 可以计算得到, %;

HI_f ——井下环境中冲洗带流体的含氢指数, %;

P_g ——NMR 气体极化函数。它取决于气体纵向弛豫时间及 NMR 仪器的等待时间。

对于 S_{gxo} 和 ϕ_t 而言, 处理密度和 NMR 测井资料 DMR 法可以对上述公式给出基本解释。由于 NMR 仪器孔隙度响应与岩性无关, 所以不需泥质含量校正。NMR 仪器的探测深度比中子仪器更接近于密度仪器的探测深度。该模型与水电阻率无关, 所以并不涉及滤液和原生水混合问题。这样, 与上面所介绍的早期技术相比, 该项技术就可更加准确地推导出这些参数。图 3 为我们所研究的一口井的 DMR 处理流程的输出结果, 包括有校正的气体、 ϕ_t

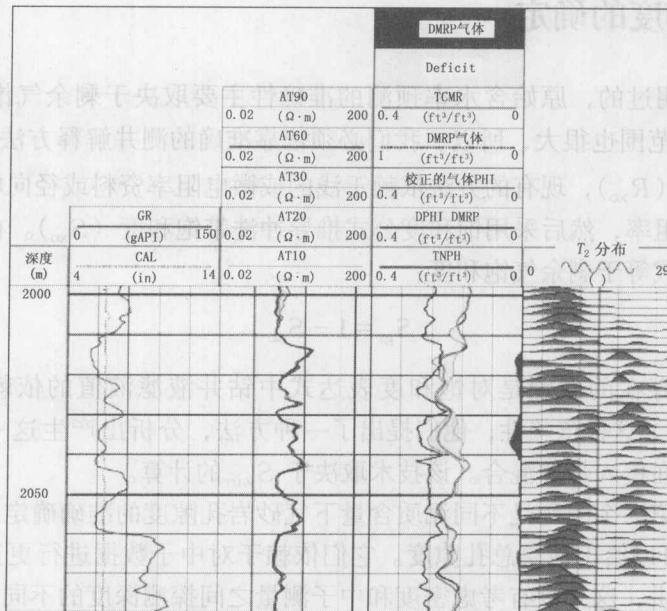


图 3 综合电阻率—密度—中子和 NMR 测井资料处理 DMR 的中间流程显示结果。标注“校正的气体 PHI”的曲线为含气校正的总孔隙度, 标注“DMRP 气体”为冲洗带气体饱和度。在 TCMR 和 DPHI DMRP 曲线间的明显气体“交叉”现象, 在 TNPH 和 DPHI DMRP 曲线上见不到

和 S_{g-xo} 。该图中还包括 AIT*、密度、中子和 CMR-Plus* 的测井曲线。该图突出了 NMR 孔隙度对气的灵敏度，在中子孔隙度中气被泥质含量所屏蔽而无法识别。利用 DMR 方法，这种影响有助于获得含气校正地层总孔隙度。令 S_{g-xo} 与 S_{gr} 相等，将其代入式 (2) 和式 (3)，给出确定地层相对渗透率特性的另一种方法。

5 原始气体饱和度的确定

在该流程中，我们采用双水模型确定原始地层流体饱和度 (Clavier, 1984)。它包含在完全版的 ELANPlus** 矿物体积计算程序中，综合了 DMR 处理得出的 ϕ_t ，为泥质气砂岩饱和度的计算提供了最佳的条件。同时，要谨慎确定双水模型中起决定性作用的 R_t 。低电阻率环带地层经常出现在用淡水钻井液或 OBM 所钻井的气砂岩中。Allen 和 Jacobsen (1987) 及 Terry 等 (1994) 给出了典型的泥质含气砂岩中这种情况的现场实例。

低阻环带的出现会极大地影响电阻率仪器响应，尤其是深电阻率曲线。图 4 为 AIT 阵

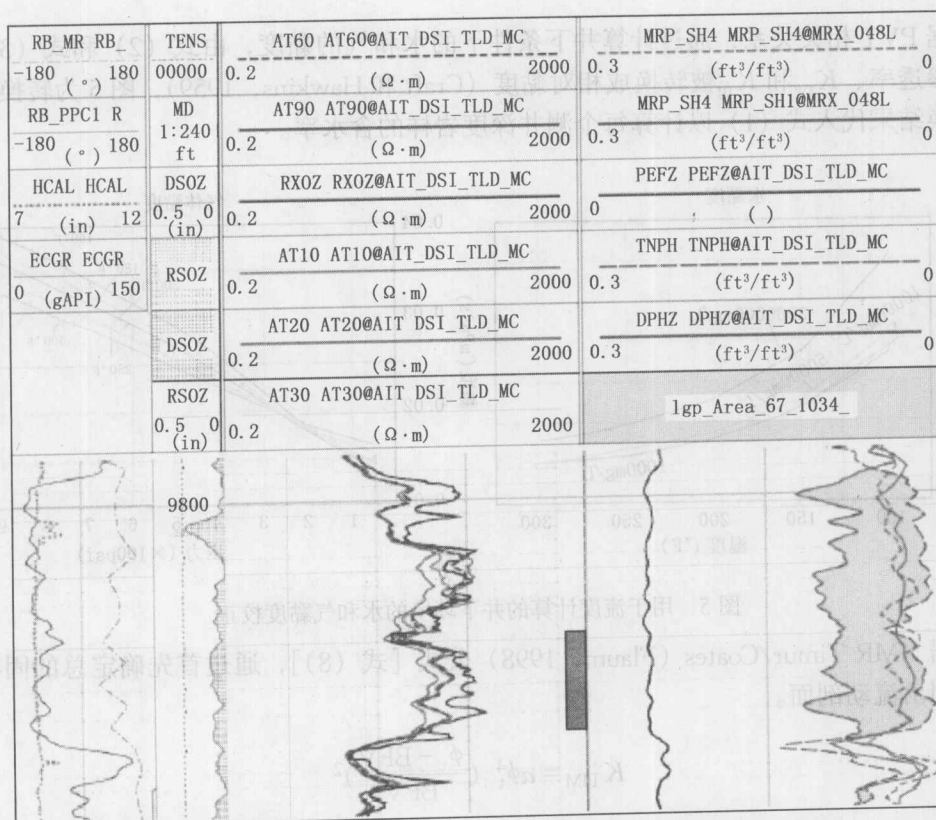


图 4 含气砂岩的电阻率测井结果。在较低的砂岩凸起处，用带条指示低阻环。用环状侵入模型对数据进行正确反演求得砂岩 R_t 平均为 $95\Omega\cdot m$ ，是 AT90 曲线读数的一倍。这使得 S_w 从 41% 变为 29%。根据束缚水和残余气值，可使预测产水量从 20% 降至 0

* 斯伦贝谢公司生产。

** 斯伦贝谢公司标志。

列电阻率测井曲线受环带影响的实例。方法包括使用电阻率反演程序求解侵入校正的 R_t 值,尤其是在有环带影响时 (Jammes 等, 2000)。该程序采用 Singer 和 Barber (1998) 提出的物质平衡模型以使模型使用的参数接近实际值。这使电阻率曲线剖面不能明显地指示环带的存在,我们也要给予重视。Ramakrishnan 和 Wilkinson (1996) 根据基本原理证明,在我们所研究的含气储层低阻环带永远存在。 R_t 的反演值用于双水分析。就图 4 中的数据来说,环带模型 R_t 反演值约为 $95\Omega\cdot m$, 比最深的 (90in) 阵列感应曲线值要高。

一旦确信能够获得原始流体饱和度,那么,我们就把每个测井深度岩样的 S_w 输入到相对渗透率计算式 (2) 和式 (3) 中。正如对 S_{wirr} 和 S_{gr} 参数采用含水率灵敏度分析法一样,我们对 S_w 也采取了同样的做法,见图 6。该图表明,该过程对 S_w 的精度要求与处理 S_{wirr} 和 S_{gr} 时的一样重要。我们重新强调这一点是因为我们工作流程的宗旨是给模型输入最准确的测井评价结果。

6 流动剖面结构

根据 PVT 相关关系,通过计算井下条件下的水和气的黏度,由式 (2) 和式 (3) 得到的相对渗透率、 K_{rw} 和 K_{rg} 被转换成相对黏度 (Craft 和 Hawkins, 1959), 图 5 为转换图。然后把转换结果代入式 (1) 以计算每个测井深度岩样的含水率。

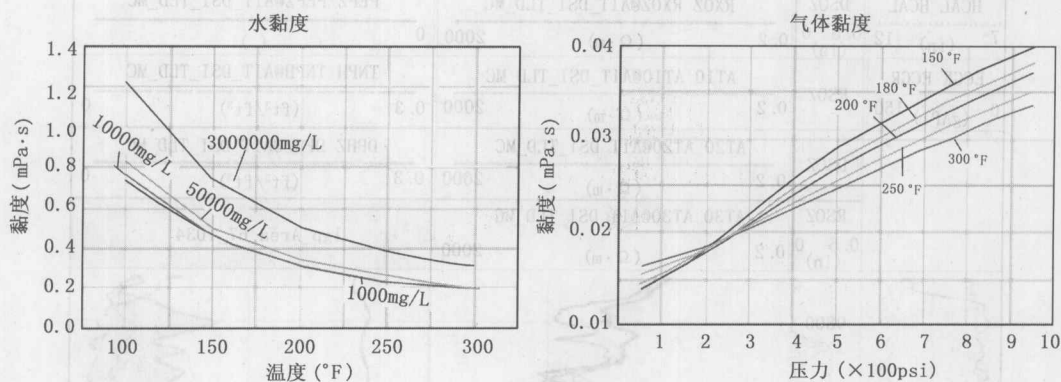


图 5 用于流度计算的井下环境的水和气黏度校正

根据 NMR Timur/Coates (Flaum, 1998) 公式 [式 (8)], 通过首先确定总的固有渗透率, 绘制出流动剖面。

$$K_{TIM} = a\phi_t^4 \left(\frac{\phi_t - BFV}{BFV} \right)^2 \quad (8)$$

式中 K_{TIM} ——原始渗透率, $\times 10^{-3}\mu m^2$;

a ——换算系数;

ϕ_t ——DMR 处理的, 总的含气校正孔隙度。

我们没有输出 K_{TIM} 本身, 而是将其作为一个综合函数, 计算大于渗透率门限值的每个层的总的流体 (气+水) 贡献。然后, 根据每个深度上的相对含水率标定 K_{TIM} 。最后, 把结果与深度匹配, 从而给出 0~100% 流动剖面。

本过程可供的选择是要优先确定有前景的射孔层段, 并只包括这些层段的贡献。图形输

出结果是综合测井资料得出的主要信息的精华。图 6 给出了输出格式,包括岩性或孔隙度、近井眼(冲洗带或残余带)流体分析、非侵入带或原状地层的流体分析及原始产量流动剖面预测。

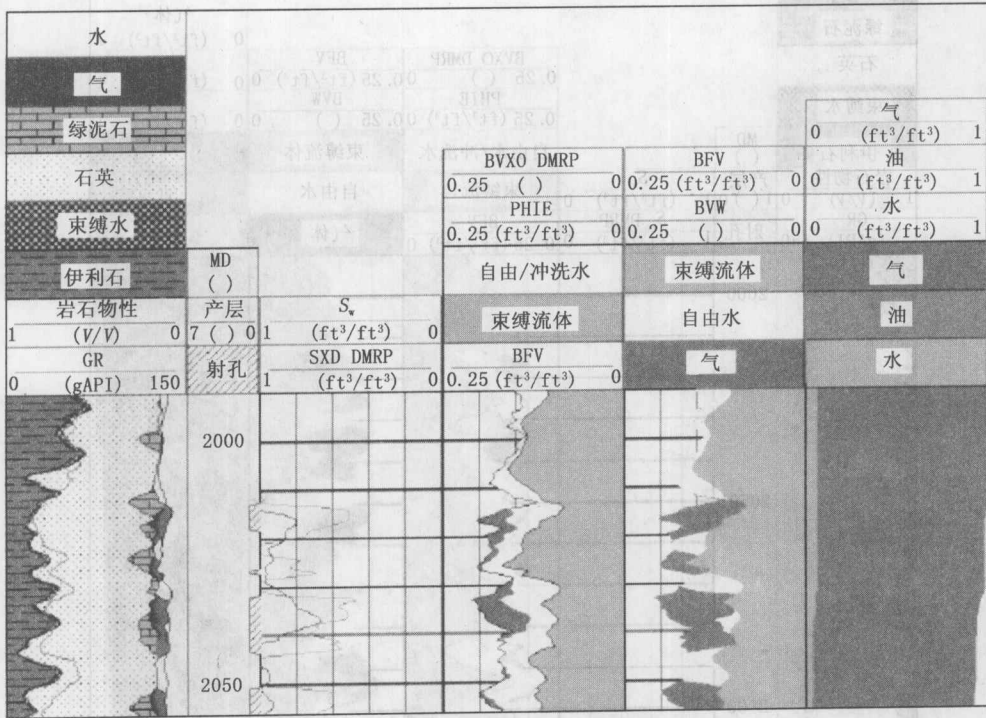


图 6 本流程结果的图形显示。其重点研究流体饱和度随(代表束缚流体、残余流体和深处流体饱和度)地层深度的径向变化。这有助于在图示中正确位置预测分流量流动剖面。第 1 道显示的是矿物体积和基于 ELANPlus 的流体分析。第 2 道为浅的和深的含水饱和度。轨迹第 3、4 道为流体分析孔隙度显示中冲洗带饱和度和原生气体饱和度和含水饱和度,与束缚水一致。第 5 道为标定的 0~100% 的水和气体的相对体积

7 现场实例

我们研究中的现场实例代表了美国不同的泥质气砂岩储层(从南得克萨斯到东得克萨斯)。所有的测井数据包括 AIT/PlatformExpress 电阻率—中子—密度测井资料及 CMR-Plus 或 MR 扫描仪* NMR 测井资料。

实例 1 井位于下渐新世 Vicksburg 地层。三角洲砂岩储层岩石由岩屑岩石碎片和长石构成,微孔发育,导致低孔隙度,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

分析结果见图 7。原生水饱和度高会使人误以为含水率高,操作员几乎忽视了该层段。含水率流动剖面预测整个产层的产水率约 3%。最初产干气,连续生产后,所产气体的含水率低于 2%。该井是为油基钻井液井,因此,不能用常规方法估算出用于分析的 S_{gr} 。

实例 2 井位于南得克萨斯 Frio 地层。这些储层由多重河道沉积和泛滥沉积形成的砂泥岩剖面构成。其孔隙度为 5%~20%,平均是 15%。渗透率最低和最高分别为 $0.003 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

* 斯伦贝谢公司生产。

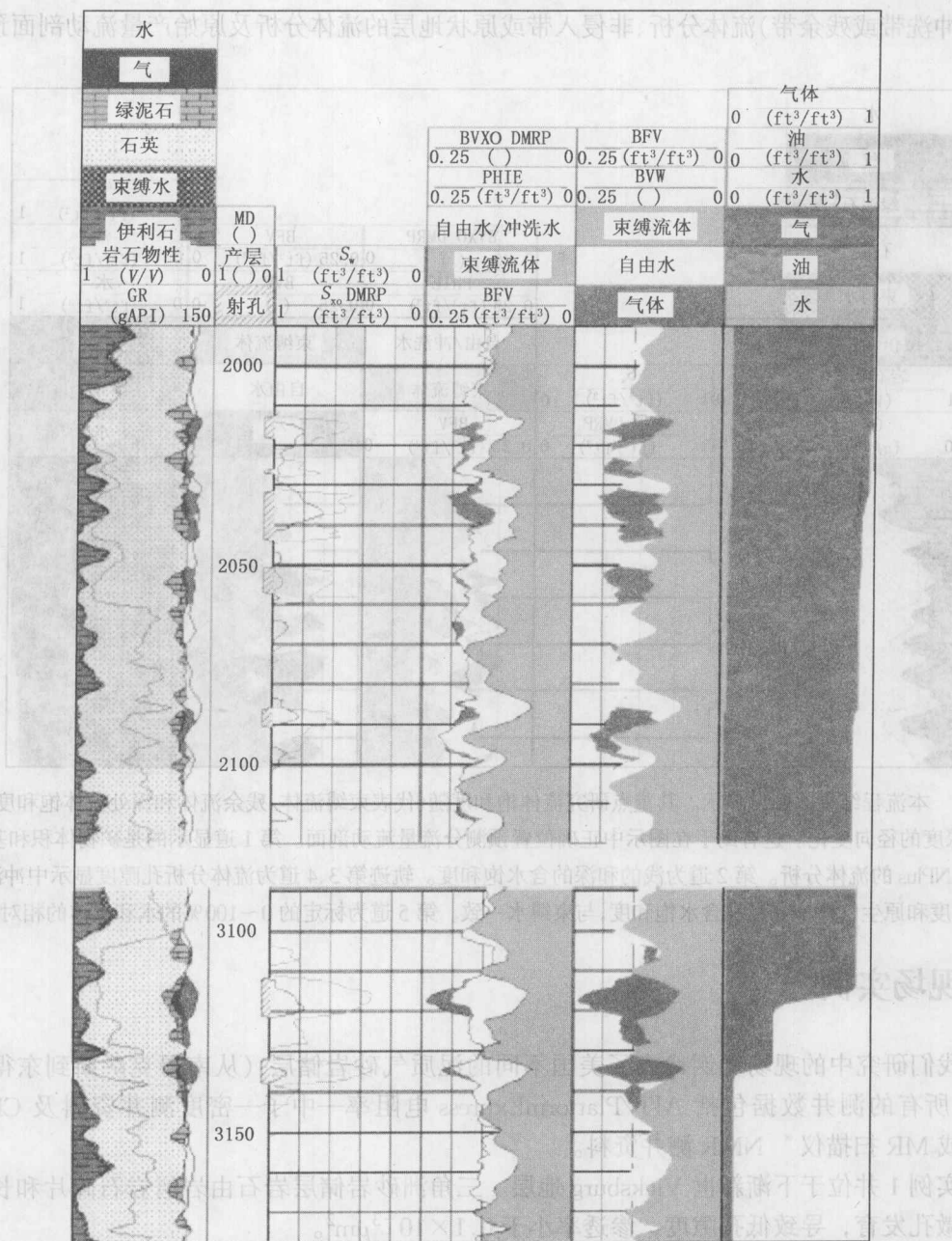


图7 实例1井的分析结果。原生水饱和度高已误导对高含水率的预测。含水率流动剖面可以预测少量的水。该井连续产气的含水率约为2%气

分析结果见图8。有潜力储层的长层段显示出强烈的气冲刷，标志残余气饱和度较低。流动剖面预示总的混合水含量约为10%，生产数据显示井的出始含水率为11%。

实例3井是南得克萨斯 Wilcox 地层的一口气井。Wilcox 成岩黏土控制储层渗透率的程度取决于其对孔喉封堵的程度，其孔隙度在18%~23%之间，渗透率为 $5\sim 35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

图9给出了分析情况。该井压裂后进行了全套生产测井的测量。生产测井流动剖面与预

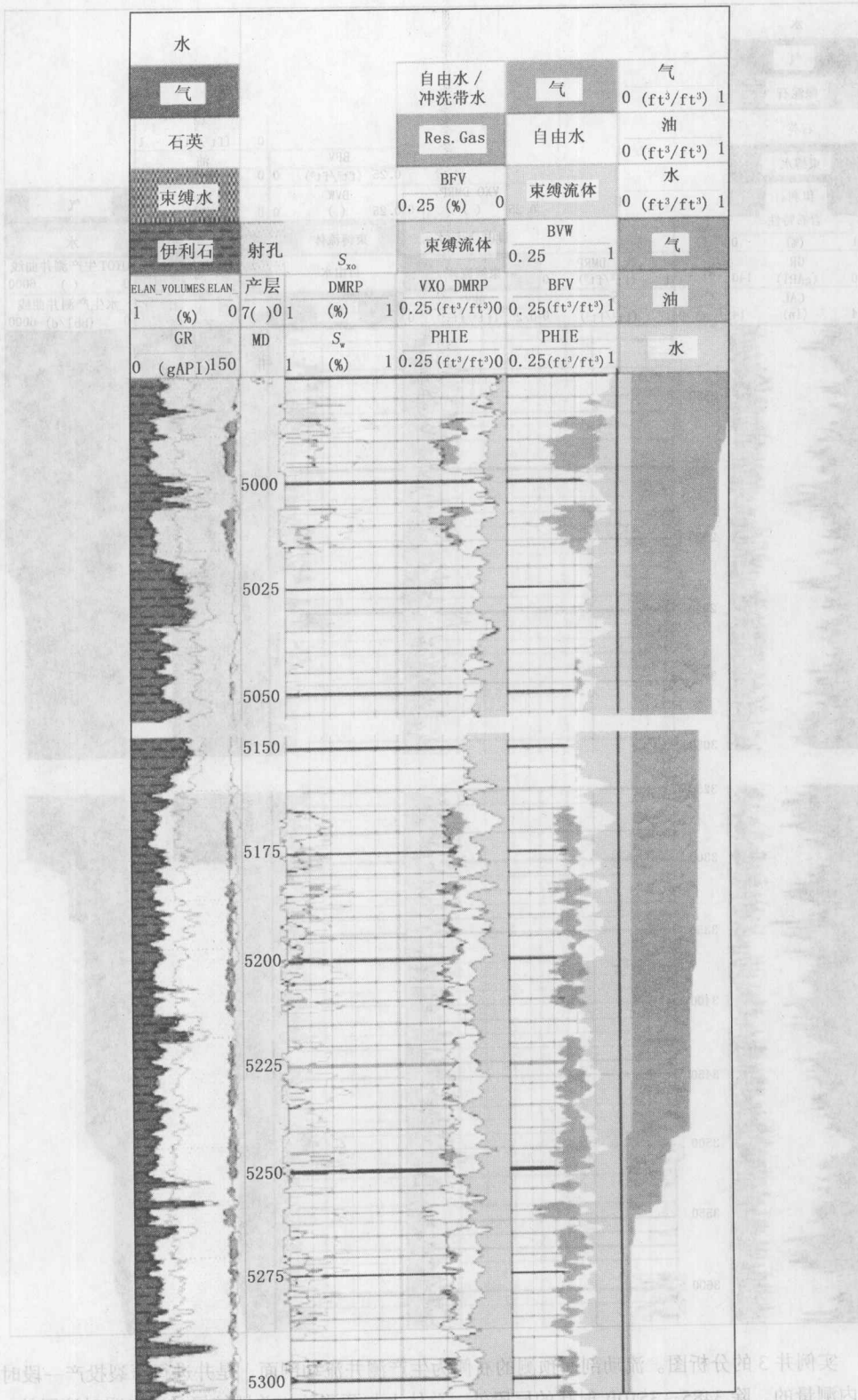


图8 实例井2的分析图。原始水产量预测为10%。该井连续产气含水率小于11%