

国外油气新科技丛书

薄层测井评价译文集

杨春胜 陈益鹏 等译



石油工业出版社

070001



00679718

国外油气新科技丛书

薄层测井评价译文集

杨春胜 陈益鹏 等译

TE 15

008



200432344



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书收集了国外有关薄层测井评价方面的文章共 12 篇。分别介绍了用于薄层评价的新仪器 TBR1, 提高常规测井垂向分辨率的处理技术, 复杂岩性的薄层评价技术, 高垂向分辨率测井仪在薄层评价中的应用研究, 薄层评价中套管井测井资料的应用分析, 以及薄砂、泥岩互层中倾斜校正的方法等。本书既有薄层评价的方法原理, 又有丰富的现场实例, 适合我国测井工作者参考。

国外油气新科技丛书
薄层测井评价译文集
杨春胜 陈益鹏 等译

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 268 千字 印 1—1,500

1992 年 1 月北京第 1 版 1992 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5021-0722-3 / TE · 682

定价: 6.55 元

编 者 的 话

当今是科技迅速发展的时代，信息至关重要。石油工业则是技术密集、资金密集和风险很大的产业。为了节约资金和减小风险，引用各种新的科学技术成果，就成为发展石油工业的必由之路。

十多年来，我国的石油科技工作者，在党的改革开放方针的指引下，在学习国外先进的石油科学技术方面，取得了很大的成绩，促进了我国石油科技的迅速发展，同时，也为发展我国的石油工业作出了应有的贡献。

但是，从信息传播的速度和广度来看，还不能适应广大石油科技工作者的需要。为了解决这个问题，我们推出这套丛书。

在内容方面，这套丛书按石油科技中不同的专业，如石油地质、石油储运、石油经济……分成单册。每个专业里又根据当前我国石油工业急需的科技课题，从国外最新发表的文章中进行挑选后，组织翻译。有的还是由若干文章进行编译的。

我们希望广大石油科技工作者喜爱这套丛书，并请不吝赐教，以便改进工作。

国外油气新科技丛书编委会

52963/22

国外油气新科技丛书编委会

主 任: 李昭仁

副主任: 安作相 于秀琳 段云舫

委 员: (按姓氏笔划为序)

于秀琳 马家骥 孔秀兰 司徒丽丽

安作相 吕德本 牟永光 李昭仁

李希文 陈广田 张 炎 林素珍

段云舫 胡文海 徐云英 章兆淇

陶世桢

《薄层测井评价译文集》编委会

主任: 章兆淇

委员: 司徒丽丽 李希文 陈益鹏

鲜于德清 章兆淇

目 录

一、薄储集层测井评价进展·····	(1)
二、高分辨率深探测电阻率仪器的应用·····	(14)
三、薄储集层中套管井测井曲线的应用效果及限制 (Barbara 气田)·····	(25)
四、应用倾角测井的微电阻率资料改善印度尼西亚加里曼丹东北部油田薄砂岩 层的地层评价·····	(39)
五、处理补偿中子测井资料提高分辨率·····	(50)
六、评价海湾滨海地区层状储集层的测井分析技术·····	(63)
七、薄互复杂岩性地层的定量评价·····	(81)
八、在用油基泥浆钻的井中预测薄砂层的油气饱和度·····	(98)
九、油基泥浆环境中的薄层分辨率及冲洗带电阻率的确定·····	(112)
十、用井眼电象图分析薄储集层·····	(122)
十一、在极薄层状砂岩和泥岩中 BHTV、FMS 和 SHDT 成象的应用研究·····	(136)
十二、确定层状倾斜薄砂、泥岩层序中砂岩的电导率和饱和度·····	(146)

一、薄储集层测井评价进展

Gerald W. Allan et al.

徐晓伟 译

朱桂清 校

1. 引言

多么薄才称为“薄”层呢？在通常情况下，薄层是指 5~15 厘米（2~6 英寸）厚的砂岩和泥岩互层。从过去的经验和为了研究在准备资料时所遇到的情况看，“薄”这一词变得有些模糊了。

根据仪器垂向分辨率和测量特性的不同，邻层的影响也有所变化。在至少 10 米厚的层中，薄层对电阻率测量值的影响是很明显的。另外，人们发现，看起来较厚的碳酸盐岩层段，其间有非常薄的夹层。应用“薄”层这一概念，我们可以拓宽所需技术领域的范围进行并对其进行讨论。

适当选择测量仪器和数据采集方法能大大地改善薄层资料。进一步处理这些资料，有助于恰当地表征薄层的特性。本文将讨论这些技术与仪器的应用及益处。

2. 数据采集

采集原始测井资料的方法是成功地用这些资料进行薄层分析的基础。由于储集层薄，因此采样率和测井速度必须在确保统计的稳定性和高分辨数据的精度下确定。

在应用数学方法确定最佳测速和采样率时，近年来所做的工作（Kerford 和 Georgi, 1987）是使用原始资料的傅立叶（Fourier）表达式。通常，结果表明较高的采样率只有辅助以较慢的测井速度才有效。虽然发现在使用数学方法时有些限制，但是，我们认为这一基本原理是有效的，应在薄层评价的数据记录中加以应用。

只要采样数据是稳定的，统计性不是很强，那么，单独增加采样率就可提高这些数据的垂向分辨率。这类数据的响应是线性的，如声波、自然伽马或微电阻率。其它方面限制了使用这一方法提高垂向分辨率，如仪器分辨率。提高由于垂向分辨率较差而被“平均”的数据的采样率，除了得到某个点的最佳值外，其它一无所获，这个最佳值可用数学的与实际的方法确定。采集数据的滤波作用从美学角度是吸引人的，但它掩盖了被认为是“错误的”读数的薄层响应。

从绝大多数测井资料来看，无论其是否具有统计特性，都进行过滤波处理。有必要补偿由于探测器响应、统计的不确定性等所造成的异常。

假设数据采样率为 10 个样/米。如果这些探测器遇到地层界面，就会出现由于探测器测量值和间距的细小差别造成的数据异常。为了进行补偿，可应用滤波器来减小某些点上的突变的影响。提高采样率后可以有效地降低滤波，因为这种变化不会从一个采样点突变到另一个采样点。由于这种变化的突变较小，因此，我们可以减小所应用的滤波技术而仍可补偿

出现的异常。应该用一个最小的滤波，以较高的采样率记录高分辨数据。

为达到本文的目的，对滤波和非滤波数据都做了明确说明。滤波数据是指具有应用于原始信号的 11 点加权滤波器，近似为：

0.006, 0.03, 0.07, 0.13, 0.17, 0.19, 0.17, 0.13, 0.07, 0.03, 0.006
(常规滤波)

非滤波数据仍具有 11 点滤波器，权值较低，近似为：

0.004, 0.01, 0.07, 0.10, 0.25, 0.32, 0.25, 0.10, 0.07, 0.01, 0.004
(轻度滤波 (Low Filter))

这种轻度滤波对所记录的数据影响较小。为了简便和从实际角度考虑，这些数据将作为非滤波数据。

另一个重要方面（尤其对放射性孔隙度测量仪器）是测井速度。测速越慢，在深度“间隔”之间所采集数据越多，计数率也将增加。这实际上是减小了统计性。在这种情况下减少滤波次数后仍可保证数据质量和重复性。

图 1 显示了 0.6 米 (2 英尺) 间距的声波数据，一条曲线是用常规滤波器以 10 个样 / 米的采样率记录的，另一条未经滤波以 40 个样 / 米的采样率记录的。40 个样 / 米的数据能很好地区分地层及其特征。很明显，与专门设计的高垂向分辨率的仪器相比，这些数据反映了地层特征 (图 6)。为了在薄互层中得到最佳资料，要求采样率高、测速低和滤波次数少。

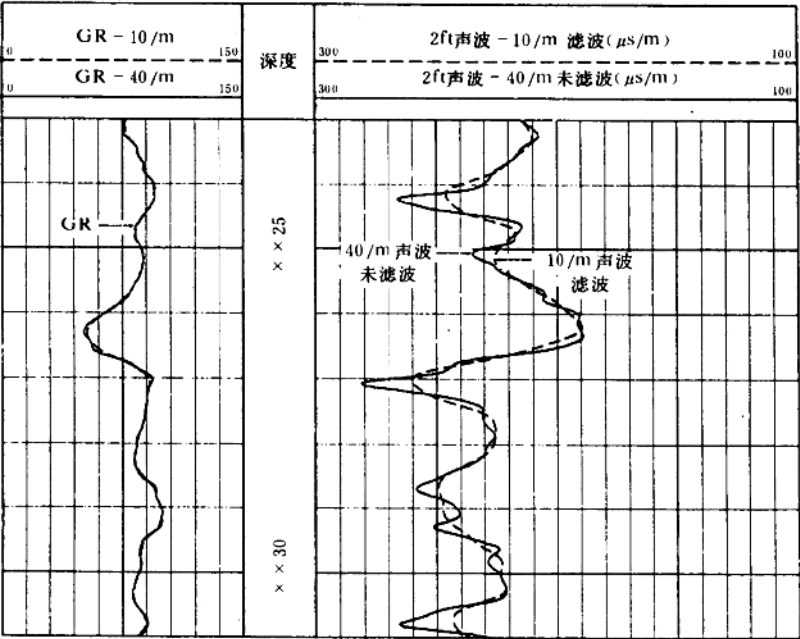


图 1 滤波和未滤波的声波曲线 (源距 0.6 米)

3.新 仪 器

即使应用了这些技术, 提高分辨率的程度也受到仪器源和传感波几何形状的限制。一般情况下, 仪器源距通常综合考虑了探测深度、最小井眼影响和垂向分辨率。尽管在工业领域中, 这些仪器的设计或许是变化的, 但总的来说设计特征是非常类似的。

1) 双相感应仪

这种仪器的实际源距与常规的双感应聚焦测井仪 (DIFL) 相同。双相仪的优点在于: 它可测量同相与 90 度相移信号。这些测量值能提高仪器的薄层响应。在厚达 15 米 (49 英尺) 的层中也能观察到邻层影响 (Barber, 1986)。可变的传感器频率可减弱趋肤效应和增加有效探测深度 (Allen 和 Jacobsen, 1988)。当进一步改善处理方法时, 所得资料的成果非常显著。这将在处理部分进一步讨论。

2) 薄层电阻率仪

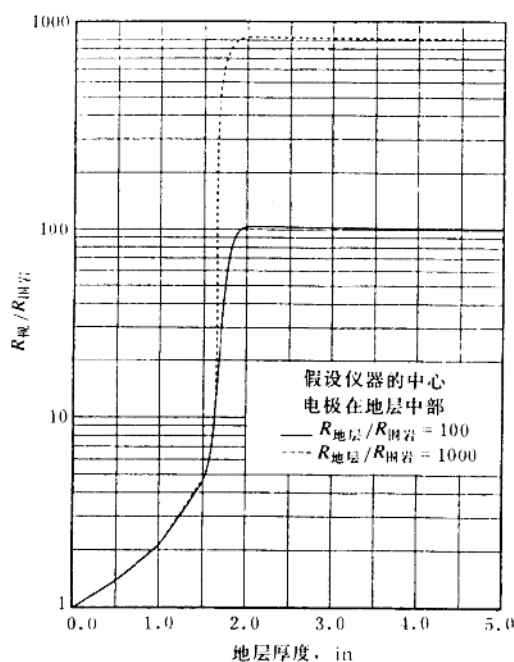


图 2a 低阻薄层的响应

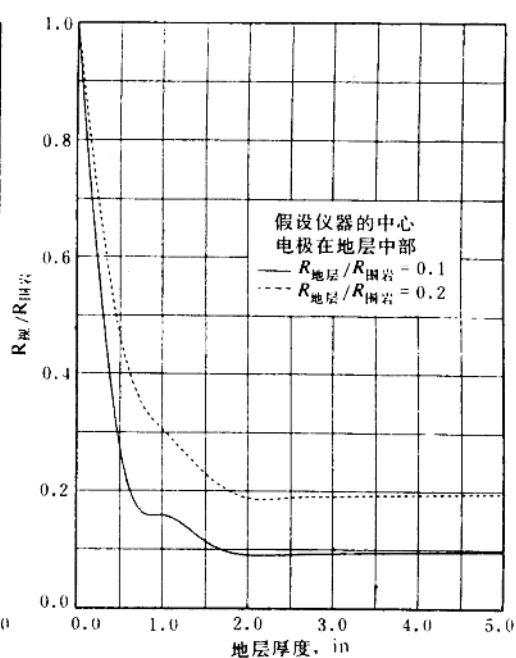


图 2b 高阻薄层的响应

人们已研制出一种高分辨率深探测仪 TBRt (Khokhar 和 Johnson, 1989), 用于薄层的测量。长的等电位电极使测量电流聚焦进入地层深处, 而保持了极好的垂向分辨率。TBRt 仪器的垂向分辨率是 0.05 米 (2 英寸), 探测深度为 0.3~0.48 米 (12~19 英寸), 与 R_l/R_{xo} 比值有关, 如图 2 所示。具有良好的垂向分辨率的深探测仪器在确定地层界面和更为精确的薄层电阻率方面非常有用。

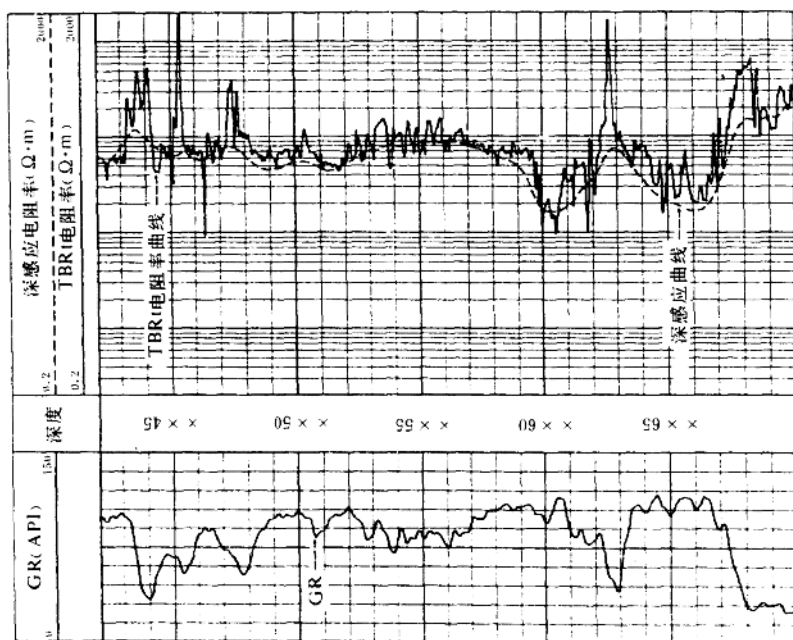


图3 常规深感应和TBRt电阻率曲线的比较

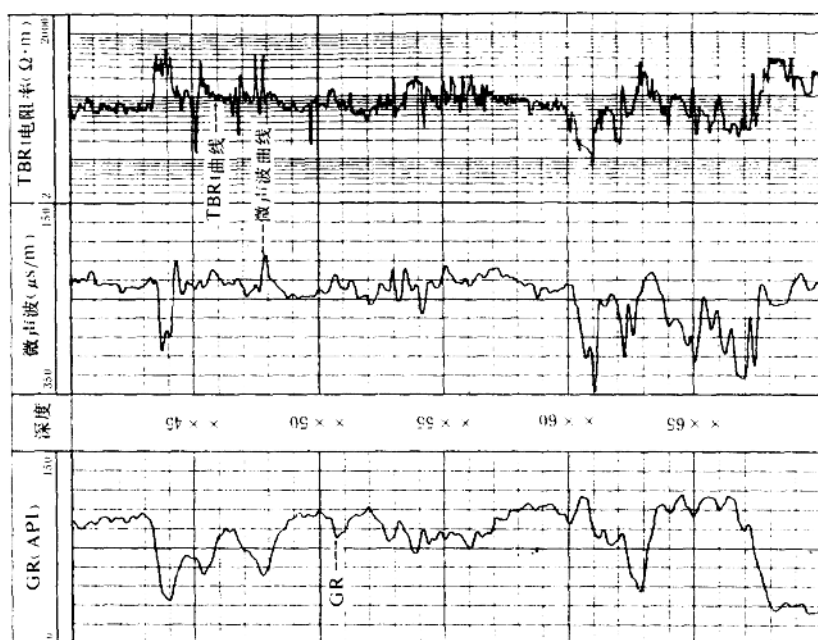


图4 TBRt和微声波曲线的比较

图3是常规深感应电阻率与TBRt资料的比较。注意,使用TBRt后使层的划分得到改善,而且没有邻层影响(XX58~XX60)。虽然TBRt仪器的探测深度大约为0.4米(16英寸),但深侵入仍对测量值有影响。在淡水泥浆剖面的情况下,TBRt基线偏离深感应线(XX48.5~XX51.5),这一点很明显。把TBRt资料与微声波资料(分辨率为0.15米(6英寸))比较,可证明数据的这一特征(图4)。

3) 微声波仪

为了提高0.6米(2英尺)源距常规声波仪器的垂向分辨率,在该源距的两个接收器之间增添了一对相距0.15米(6英寸)的接收器。较短(井眼补偿)的声波源距可以产生对薄层更敏感的声测量。这些特征很明显,而且在测量井段上重复性相当好,如图5所示。仪器(用轻度滤波以40次采样/米的采样率记录)的重复性表明,与同一层段上同样的仪器以10次采样/米记录的曲线相比,稳定性得到改善,信息量有所增加。这种微声波测量同样证实了源距为0.6米(2英尺)、采样率为40个样/米的仪器探测到的特征(图6)。

在讨论薄层时,常把碳酸盐岩忽略。图5是常规声波测量曲线与0.15米(6英寸)仪所测曲线的比较。这些薄夹层会从根本上改变储集层剖面和生产率,或要求改变完井方案。如果垂向渗透性受到限制,那么,通过增加射孔密度或者选择深度进行射孔可提高流体的可采量。

4. 薄层资料处理

1) 反褶积

正如我们所论证的那样,为了改善各种测井仪的响应,可在选择测井仪器、测速和滤波方式方面采取某些辅助措施。然而,我们通常也处理一些以前没有考虑薄层所记录的资料,诸如在各种老井中测得的资料。

提高这些数据的垂向分辨率是可能的。可对资料进行反滤波,但成功率有限。应用卡尔曼(Kalman)滤波以有效的计算方式重新处理所记录的各种数据。由于很难精确地把响应模拟成白噪声驱动的线性系统的滤波输出,所以,在实用方面,这种反滤波或反褶积方法获得的成功是有限的(Lyle和Williams,1987)。Mobil开发和研究公司的Lyle和Williams两人研究了一种方法,该方法既保留了卡尔曼滤波的有效性又不必模拟测量的数据(Lyle和Williams,1987)。递归处理方法就是利用前面处理的数据点的值来帮助确定下一个点的值。所得到的新的数据可作为“修正数据”。这种算法与测得的数据和仪器响应函数有关,无需进行仪器模拟。

使用这种方法或类似的这种方法,对数据进行反褶积处理,以改善由各种线性响应测井仪(如声波、自然伽马和线性电阻率测井仪)记录的数据。首先必须消除数据采集软件所用的任何滤波。每个采集软件包可用不同权值的滤波器。所用滤波器的类型可从各测井公司了解到。这种滤波器“模型”已有过描述,用这种技术可消除滤波器而只剩下实际的“原始”信号。应用适当的软件,我们可以加强这种“伪原始”数据的响应,以提高分层能力和该层各种特征响应。为了从实用的角度评价这些原理,我们采用下述方法:

- ①以10个样/米的采样率记录常规滤波的常规(0.6米(2英尺))声波曲线;
- ②在同一层段上,以40个样/米的采样率记录未滤波的微声波曲线(0.15米(6英寸));
- ③把反褶积技术应用于0.6米(2英尺)声波曲线中,以提高分层能力和测量精度(图7a);
- ④把这些结果与高分辨率微声波数据比较(图7b)。

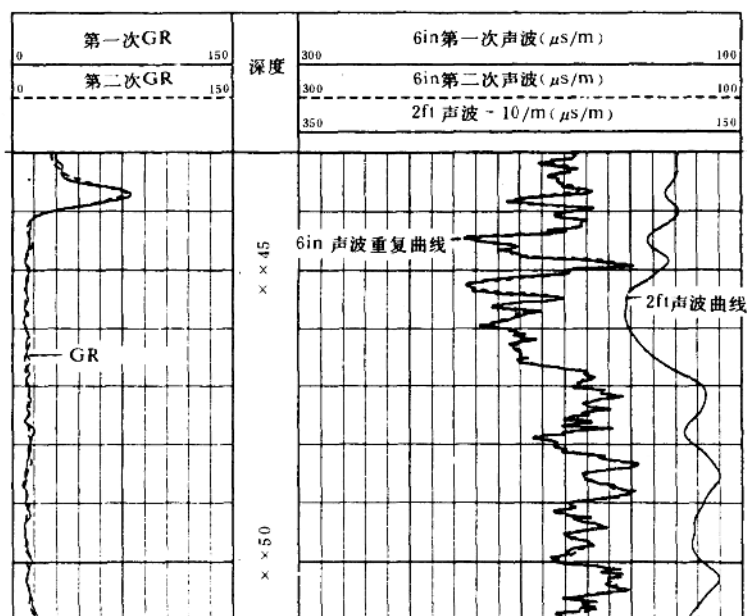


图5 声波数据的质量是发射器-接收器间距的函数

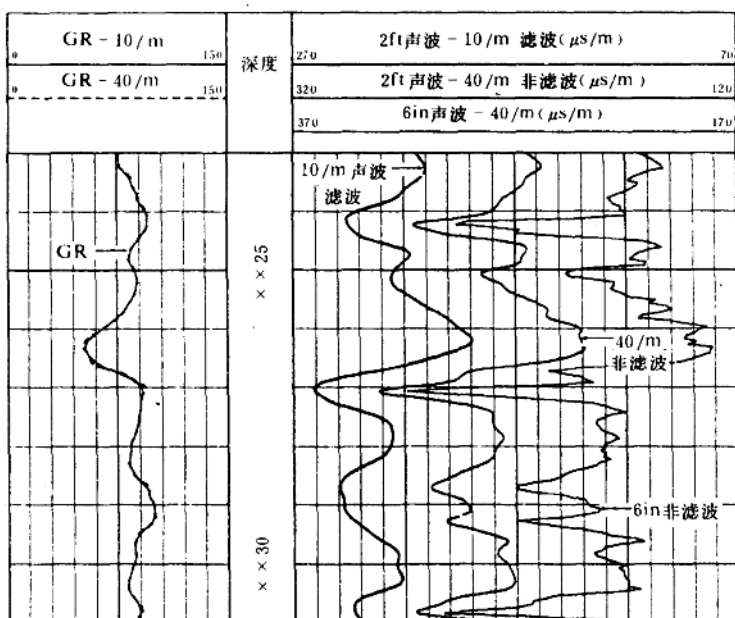


图6 间距为0.6米(2英尺)、0.15米(6英寸)的微声波曲线的比较

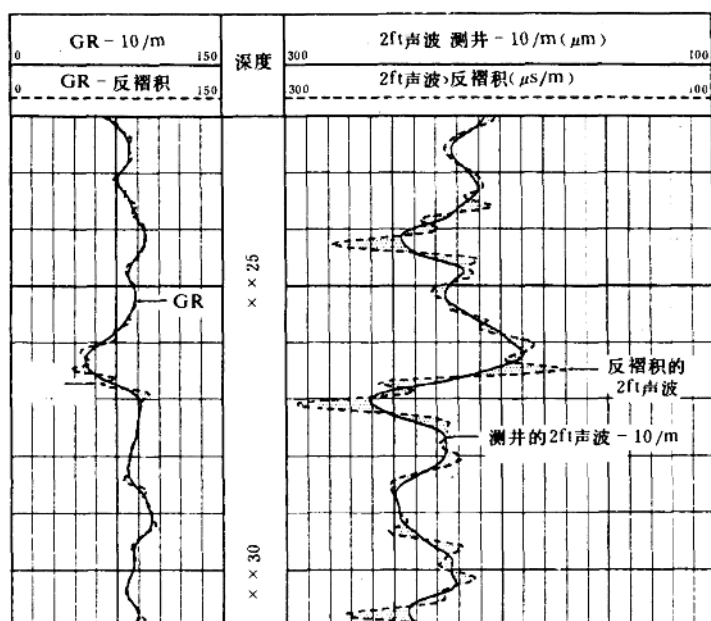


图 7a 间距为 0.6 米 (2 英尺) 的滤波与间距为 0.15 米 (6 英寸) 的反褶积声波曲线

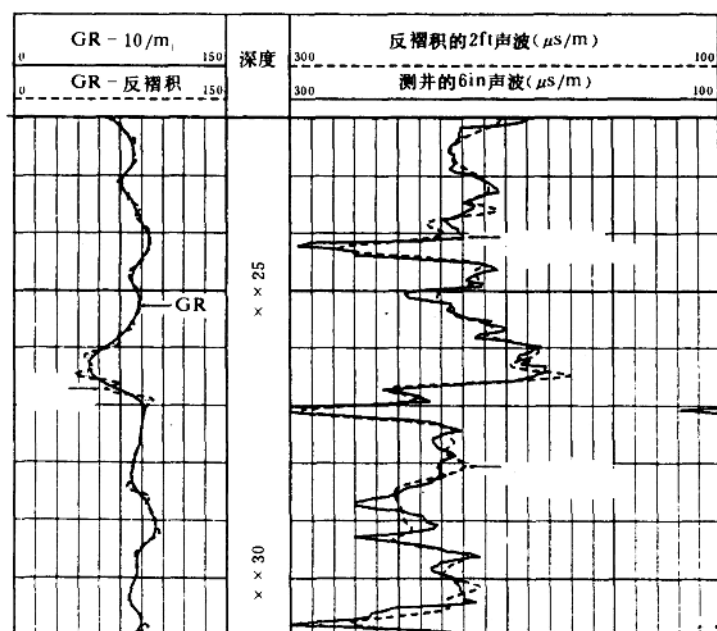


图 7b 间距为 0.6 米 (2 英尺) 的反褶积的与间距为 0.15 米 (6 英寸) 的声波曲线

这些结果表明, 反褶积处理技术在提高垂向分辨率和测量精度方面很有效。

2) 双相感应反褶积与提高分辨率

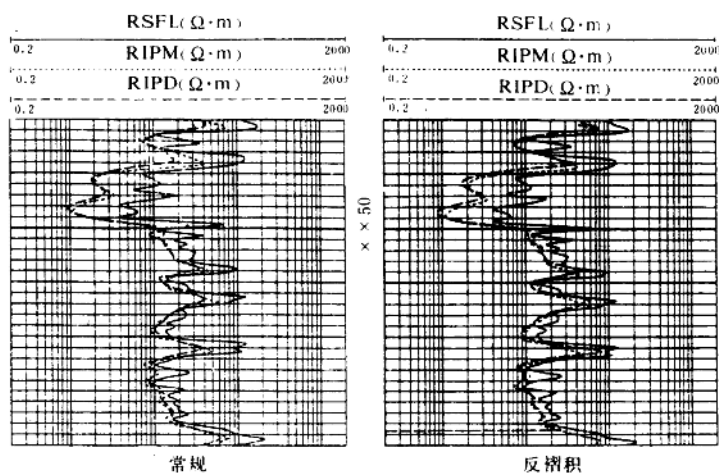


图 8a 常规的和反褶积的双相感应曲线—低阻邻层和薄的高阻层

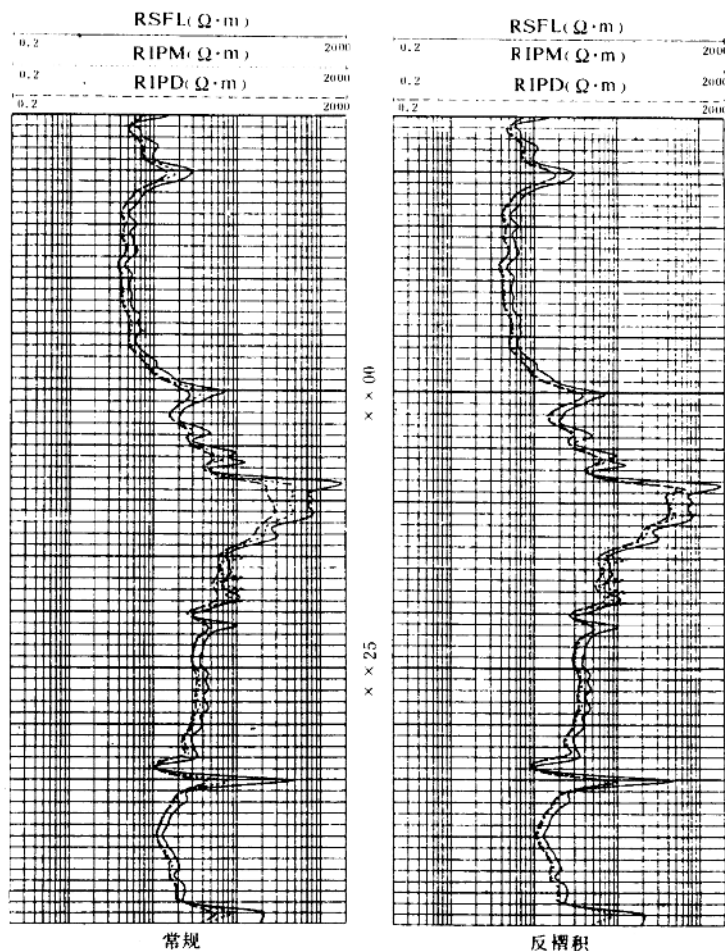


图 8b 相对薄的电阻率层的常规和反褶双相感应曲线

反褶积技术也可用于感应电阻率资料。有了双相感应测井,就可以用记录到的辅助资料进一步提高仪器响应。图 8a 和图 8b 是常规的反褶积的双相感应测井曲线,纵向分辨率有所改进,通过邻层影响校正,薄层的电阻率也得到很大改善。设计用于深电阻率的 81 点反褶积软件以便与中感应测井的纵向分辨率一致。图 8a 所示电阻率增加很明显,尤其在低阻邻层和薄的高阻层(例如:XX43~XX45)更是如此。深感应电阻率从 18 欧姆米增加到 32 欧姆米。正如所料,侵入剖面与反褶积深感应资料有很大区别。图 8b 说明了相对厚(5m (16ft))的高阻层的影响和在常规资料中所观察到的不正确的侵入剖面(XX08~XX14)。在 XX35 薄层部分,反褶积使电阻率从 42 欧姆米增加到 100 欧姆米,这一增量相当大。

当有高分辨率电阻率仪器(例如微侧向测井仪)记录的资料时,可以用这些资料提高深探测电阻仪响应的垂向分辨率。把微侧向测井的薄层响应与深测量结合可得到非常准确的地层界面。用这一种资料,我们可以校正深感应电阻率的邻层影响。图 9 的结果与图 3 中同一层段 TBRt 曲线非常相似。

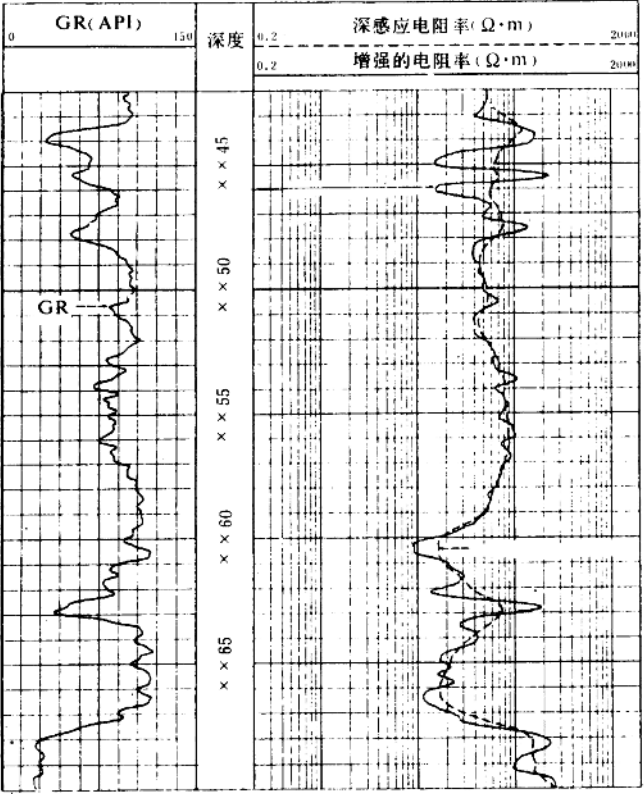


图 9 对深感应电阻率测量值做邻层影响校正

3) 孔隙度数据的改善

同样可能改善放射性孔隙度数据,包括补偿中子和补偿密度数据。双探测器的补偿中子

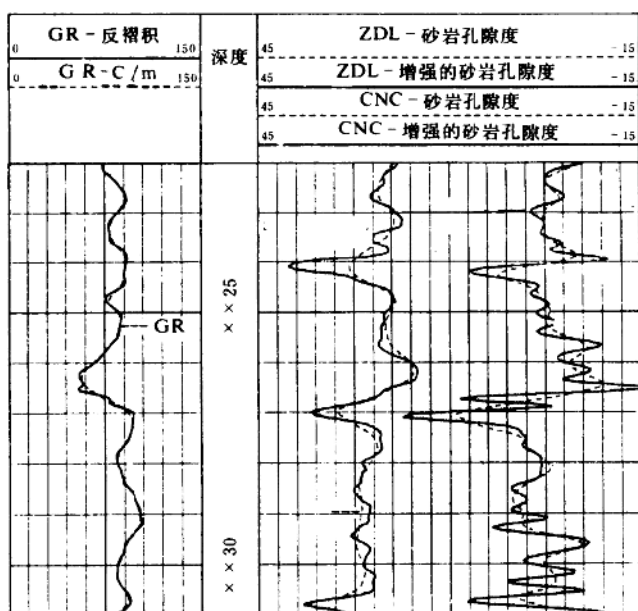


图 10 改进的密度数据和补偿中子数据

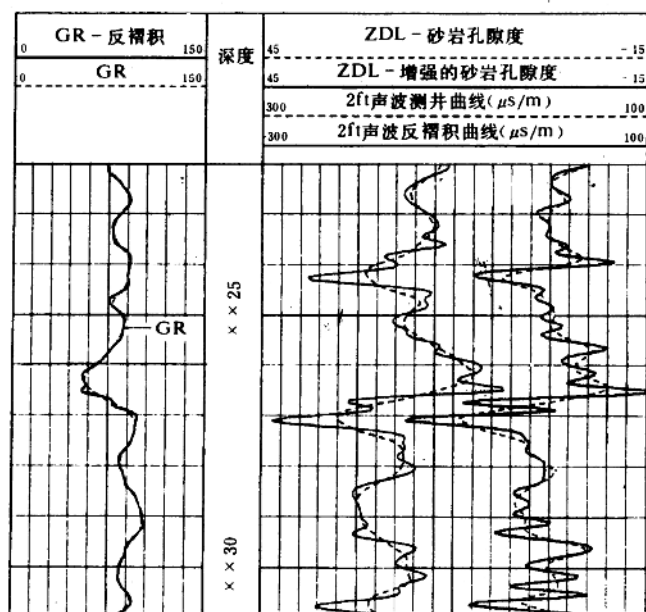


图 11 改进的密度数据与反褶积声波数据

和补偿密度数据的垂向分辨率主要是仪器源到远探测器间距的函数。由于使用了短和长间距（双）探测器，所以可以对泥饼影响做校正，因此称之为井眼补偿。采样期间使用滤波器使

得分辨率进一步降低，也减少了统计起伏。

把补偿数据与统计性能良好的短间距探测器测得数据相结合可以改善垂向分辨率。结果表明，其垂向分辨率还不到常规补偿测量仪分辨率的一半。这种井眼补偿的明显优点主要是在分析中对补偿测量进行了积分。

对每个测井公司而言，用于确定短间距测井数据所需的单探测器刻度和分辨率匹配算法都是唯一的。我们必须了解这种信息，以确保所使用的算法准确适当。图 10 显示了提高分辨率的密度与补偿中子数据。注意，中子数据的分辨率不如密度数据的分辨率。这是由探测器的间距及测量特性所致。图 11 说明，反褶积声波数据和改进的密度数据有许多非常相似的特点。

5. 应 用

用电缆仪器进行岩石物理测量记录的目的是为了确定所钻油气层的位置，并对其进行评价。薄层测井仪和薄层评价技术可用于探测漏失的油气层，更精确地评价已知储集层。

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{aR_w}{R_i \phi^m}} \tag{1}$$

如基本的含水饱和度公式所见，其中两个最大的影响因素是 ϕ 和 R_i 。应用薄层资料可大大地提高这些参数的精度和增加储量，或者至少可以为进一步测试和勘探提供依据。

图 12 是用常规和高分辨率数据所做的分析。两种解释中的各种计算参数都保持不变。可看到，孔隙度和含油饱和度值增加了。储集层内的孔隙度和饱和度剖面也有极大地改善。

表 1 储集层分析小结

层	常规数据		高分辨率数据		增加量 (%)	
	PM ^①	HM ^②	PM ^①	HM ^②	PM ^①	HM ^②
C	0.316	0.053	0.360	0.084	+14	+58
B	0.101	0	0.162	0.048	+60	+100
A	1.109	0.559	1.157	0.584	+4	+4
总计	1.526	0.612	1.679	0.716	+10	+17

①孔隙度米；

②含油微米。

正如表 1 所示，层 A 的高分辨率解释与常规解释并没有明显的不同。然而，当进行储量与经济性评价时，增加 4% 是很大的。高分辨数据的电阻率增加说明，层 B 中有漏失的储量。目前，这种储集层也许不太重要，但在这口井的生产后期，它可能提高二次开采储量。层 C 的含水饱和度大量减少是因为用高分辨率测量计算的孔隙度值增加造成的。总的来说，评价的这口井 PM 与 HM 增加 10%~17%，从经济角度考虑，使用高分辨率数据还是