

· 测井技术应用 ·

# 录测井岩性资料在储层反演中的应用

毛传龙\* 杨瑞召 万晓明 李鹏  
柴祎 王博 刘超

(中国矿业大学,北京 100083)

毛传龙,杨瑞召,万晓明,李鹏,柴祎,王博,刘超. 录测井岩性资料在储层反演中的应用. 石油地球物理勘探, 2010, 45(4): 577~583

**摘要** 传统的岩性反演主要是利用测井曲线与岩性的相关性、敏感性,将有关测井曲线(如自然伽马、电阻率等)转换成岩性曲线。这种反演只是地下岩层的某一种属性的反映,不是真岩性的反映。也就是说,这类反演方法并没有直接应用录井岩性资料和测井解释成果。本文提出一种直接依据岩性的反演方法,即先将录井岩性资料和测井解释成果进行数字化,然后将其当作是实测的“测井曲线”,直接加载到反演软件中,实现了真正意义上的岩性反演。通过应用实例分析,表明此法能将有效储层和非储层进行区分,并能确定储层所含流体的性质。

**关键词** 录井 测井解释 反演 储层预测

## 1 问题的提出

利用声波时差测井曲线进行地震地质层位的标定和波阻抗反演,或应用各种测井曲线进行属性反演和随机模拟反演,已成为地震勘探开发的核心技术。常用的地震反演软件有 Jason、Seislog、Strata、ISIS、Paradigm 等,其中 Jason 软件拥有的反演方法最多,包括基于地震数据的波阻抗反演、基于模型的测井属性反演、基于地质统计的随机模拟和随机反演,以及约束稀疏脉冲反演、弹性阻抗反演与 AVO 反演等。在 Jason 反演软件中,常用的模块主要是约束稀疏脉冲反演和地质随机模拟反演。

约束稀疏脉冲反演需要用井的波阻抗曲线进行约束。它将地震资料、测井资料和地质综合研究成果结合起来,充分利用测井资料垂向分辨率高和地震资料横向预测能力强的特点,将地震剖面转换成波阻抗剖面,从而进行储层预测、油藏特征描述等,但一般只能分辨 10~20m 的储层,分辨能力有限。要提高地震资料反演的分辨率和精度,曲线重构是解决这一问题的一个有效方法,其目的是充分利用各种测井曲线,将反映地层细微差别的非声波时差

曲线信息融合到声波时差曲线中去,合成拟声波时差曲线以提高地震储层反演的准确度<sup>[1,2]</sup>。

地质随机模拟反演技术是一种将随机模拟的理论与地震反演相结合的反演方法,它能有效地提高地震资料的垂向分辨率,充分考虑地下地质的随机特性,避免过分依赖初始模型,使反演结果更加符合实际地质情况<sup>[3,4]</sup>。它利用地质统计学原理,以测井数据为主,应用随机模拟的方法,产生多个可选的、等概率的数据体,井间变化用地震数据进行约束。其结果分辨率高,与井吻合程度高,在多井的情况下,可以对任何一种反映储层变化的物性参数(测井曲线)进行模拟,它可以在垂向和横向上较好地反映储层的非均质性,适用于开发阶段对油气藏与单个砂体进行精细描述。

如何充分利用各种测井曲线的信息提高地震反演的分辨率和精度,提高测井资料在进行地震层位标定和储层反演中的作用,一直是油气勘探中的研究重点<sup>[5,6]</sup>。传统的岩性反演是在测井曲线转换成岩性曲线的基础上进行的<sup>[7~10]</sup>,如用自然伽马或电阻率转换成岩性曲线等,它只是地下岩层的某一种属性的反映,并非真岩性,这样的反演只能称为准岩性反演。而录井岩性资料和测井解释成果并没有在

\*北京市海淀区学清路城华园 2-801 室,100083

本文于 2009 年 7 月 8 日收到,修改稿于同年 8 月 10 日收到。

反演中直接应用,这是储层反演和预测的误区。本文将介绍一种新的岩性反演方法:就是直接将录井岩性资料和测井解释成果数字化,转换成真岩性曲线,进行“真”岩性反演。

## 2 录井资料数字化

这里所说的录井资料数字化,不是将图片或井柱子转换成数值,而是将录井时的岩性资料转成数值的过程。

表1示出了Lp1井的录井岩性,其中有粉砂岩、细砂岩、泥岩、玄武岩、油迹细砂岩等。我们按照油气最优原则,将其分为4类:1-其他岩类;2-灰岩类;3-变质岩类;4-砂岩类(这里的1,2,3,4是代号,实际转换时定义10~19为泥岩类;20~29为灰岩类;30~39为变质岩类;40~49为砂岩类)。再将其细化为:10-泥岩、砂质泥岩、灰质泥岩、玄武质泥岩等;11-煤层;12-砾岩、砾石层;20-白云岩、灰质白云岩;21-灰

岩、白云质灰岩、泥质灰岩;30-安山岩;31-玄武岩、花岗岩;32-凝灰岩;40-泥质粉砂岩、粉砂岩;41-细砂岩;42-含砾不等粒砂岩、中砂岩;43-粗砂岩;45-荧光粉砂岩、荧光细砂岩、油迹粉砂岩、油斑细砂岩、油斑细砾岩等。这样我们可以得到一条新的“测井曲线”——岩性曲线,这是真岩性曲线(图1)。

表1 Lp1井录井岩性及分类示意表

顶面 m	底面 m	岩性	荧光	岩性 分类
1881.00	1890.00	蛋青色泥岩		10
1890.00	1893.00	棕黄色细砂岩		41
.....	.....	.....		
1910.00	1916.50	棕黄色含砾不等粒砂岩		41
.....	.....	.....		
2160.50	2162.50	蛋青色玄武质泥岩		10
2162.50	2170.00	绿色玄武岩		31
2170.00	2174.00	绿色安山岩		30
.....	.....	.....		
2216.00	2219.00	棕黄色荧光细砂岩	荧光	45
2219.00	2224.00	棕黄色油斑细砾岩	油斑	45
.....	.....	.....		
2293.00	2295.00	棕黄色荧光粉砂岩	荧光	45
.....	.....	.....		
2383.50	2387.50	棕黄色荧光细砂岩	荧光	45
2387.50	2392.00	棕黄色粉砂岩		40
.....	.....	.....		
2495.00	2499.50	棕黄色油斑细砂岩	油斑	45
.....	.....	.....		
3351.50	3356.00	棕黄色油迹粉砂岩	油迹	45
.....	.....	.....		
4044.00	4050.50	灰色灰岩		21
4050.50	4053.00	灰白色白云质灰岩		21

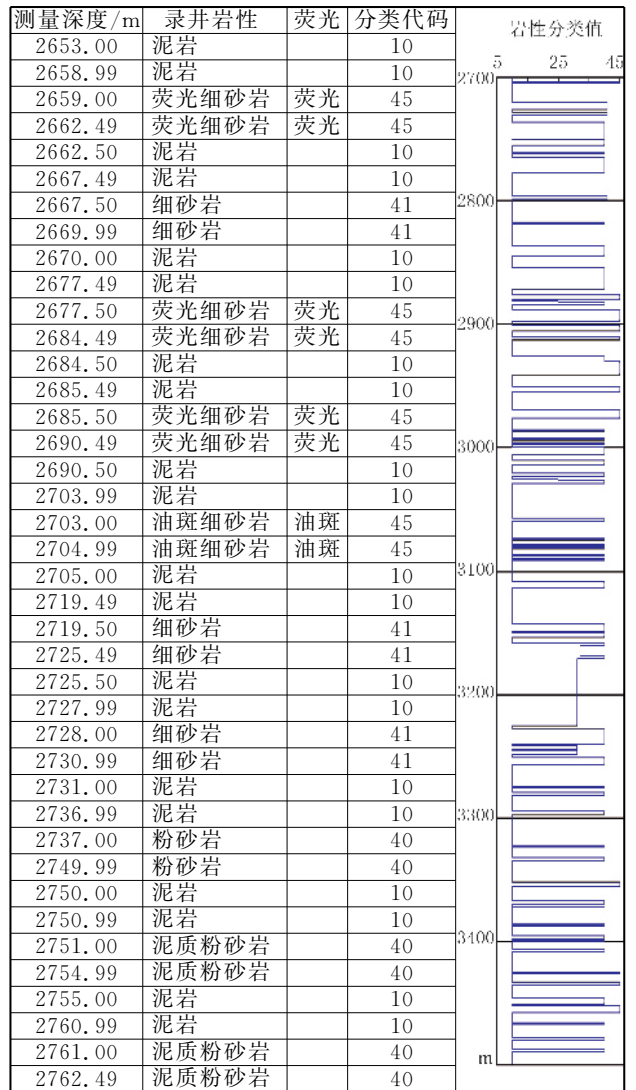


图1 Lp1井录井岩性转换的岩性曲线

对岩性的赋值可以自定义,其目的是把要研究的岩层突出出来。如研究碳酸盐岩储集层就应该将其赋值最高;再如研究煤层就应该将其赋值最低,寻找低值异常区。在其他研究区,虽然岩性不同,但总的分类是相同的,因此可以参考应用上述赋值标准。对于未连续赋值,比如10~19并没有排满而跳到20以上,是想拉开岩性的级差,这样在将来的反演成果中便于限定阈值。

再将这条岩性曲线制作成方波,加载到反演软件中。如图 1 所示的岩性曲线是 L<sub>p</sub>1 井 2700~3500m 井段录井岩性转换的岩性曲线,其波形呈方波形式,值为 10~45,不定义单位。加载井数据时将其定义为 Lithology 曲线,没有单位,在反演过程中可直接应用。

### 3 测井解释成果数字化

同样地,可将测井解释成果转换成测井曲线,在

定义其值域时可根据需要进行自定义。

表 2 是 Y64 井测井解释成果表,按照油气最优原则,将测井解释成果数字化。由于测井解释成果是将储层段分离的,所以除解释层段外,其他层段可认为是非储层,它可能是泥岩段、煤层、石膏层或其他非储层段。在进行数字化时可以定义:0-非储层(泥岩段或其他非储层段);1-干层;2-水层;3-含油水层;4-油水同层;5-含水油层、差油层;6-油层。如果是油气同层或气层,同样按油气最优原则定义,这里仅按 Y64 井的测井解释成果来进行研究。

表 2 Y64 井测井解释成果表

顶面/m	底面/m	解释成果	顶面/m	底面/m	解释成果	顶面/m	底面/m	解释成果
.....	.....	.....	1546.00	1549.20	油水同层	1627.40	1628.40	水层
1448.60	1449.80	干层	1552.00	1553.60	水层	1629.40	1632.00	干层
1450.80	1453.20	干层	1554.40	1561.40	干层	1632.80	1634.40	水层
1455.40	1457.00	干层	1562.20	1562.80	干层	1635.20	1637.40	水层
1486.00	1487.20	差油层	1563.40	1564.00	干层	1638.40	1639.60	干层
1492.20	1499.20	油层	1564.60	1567.40	干层	1646.40	1647.20	干层
1499.80	1503.40	差油层	1568.60	1569.60	水层	1648.60	1652.80	干层
1508.40	1512.00	干层	1570.40	1573.00	干层	1653.60	1656.00	水层
1521.80	1522.60	干层	1573.80	1575.20	干层	1656.80	1658.00	水层
1523.20	1525.80	干层	1578.80	1580.00	干层	1659.40	1666.20	水层
1527.20	1528.00	干层	1581.40	1585.20	水层	1667.20	1669.20	干层
1529.20	1532.60	干层	1586.00	1589.00	水层	1671.60	1672.60	干层
1533.40	1536.20	水层	1592.60	1593.60	水层	1673.60	1674.60	干层
1536.80	1538.00	干层	1595.40	1600.00	油水同层	1676.40	1677.40	干层
1539.80	1540.40	干层	1601.00	1619.40	水层	1679.40	1682.00	干层
1541.20	1544.40	干层	1620.20	1626.60	水层	.....	.....	.....

通过转换可以得到另一条新的“测井曲线”——测井解释成果曲线,这是反映油层的真曲线,暂且将其命名为“有效储层曲线”,如图 2。

图 2 所示为 Y64 井测井解释成果转换的测井曲线,呈方波形式,值为 0~6,不定义单位。加载井数据时将其定义为 None 曲线或自定义为一条 Jason 内部的新曲线(Lith-JSCG),没有单位,在反演过程中直接应用。

图 3 是 Y64 井测井曲线对比图。最右边的砂泥岩曲线是通过自然伽马转换得到的,很显然,它没有应用测井解释成果转换的有效储层曲线所指示的储层精确。有效储层曲线能够在砂泥岩互层的情况下精确指示储层属性,在将来的反演成果中,只需将门槛值限在 1 以上,即可将砂岩储层准确指示出来;在研究储层流体时,只需将门槛值限在 3 以上,即可

区分干层、水层。换句话说,通过这种真岩性反演,可直接准确地预测油气层,进而研究其空间展布规律。

## 4 测录井资料在反演中的应用

通过以上转换,我们可以得到两条新的“测井曲线”——岩性曲线(Lithology)和有效储层曲线(Lith-JSCG 曲线),下面以 Y64 井有效储层曲线为例,研究新曲线在反演(所用软件为 Jason)中的实际应用。

### 4.1 约束稀疏脉冲反演

由于在测井约束稀疏脉冲反演中仅能使用波阻抗曲线,所以只能通过曲线重构的方式将 Lith-JSCG 曲线的信息加入到波阻抗曲线中。

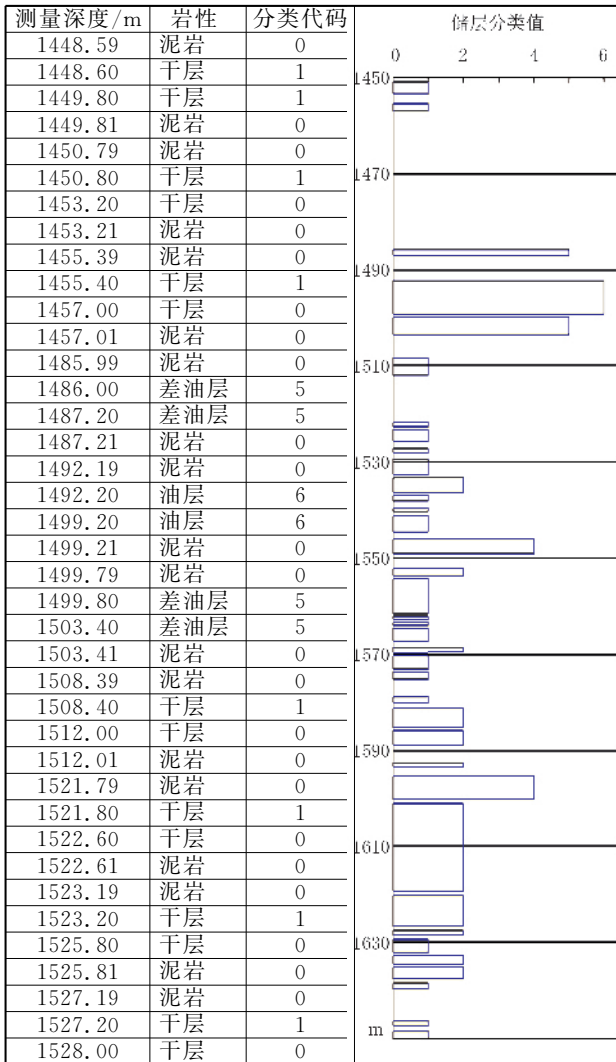


图2 Y64井测井解释成果转换的岩性曲线

图4是Y64井声波时差曲线重构前、后对比图。由图可见,重构后的声波时差曲线对储层的反映更准确、更敏感,而且油层处的值最低。

图5是Y64井声波时差曲线重构前、后井约束稀疏脉冲反演对比图,上图为重构前的过井反演剖面,下图是重构后的过井反演剖面。明显可见,重构前反演剖面分辨率低,油层和储层无法分辨;重构后反演剖面分辨率有所提高,油层处的波阻抗值最大,其他储层波阻抗值略小,这样可将油层从其他储层中分离出来,进行精细描述。

同理,用Lithology曲线进行重构反演,同样可以突出储层,并把含油气砂岩层的波阻抗值提到最高,从而分离油气层,进行油气藏的精细描述。

#### 4.2 地质随机模拟反演

在地质随机模拟反演中,可以对任何一种测井曲线进行模拟,所以我们只要将新的岩性曲线或有效储层曲线直接进行随机模拟反演,便可得到新的反演成果——真岩性数据体或有效储层数据体。

在真岩性数据体中,将阈值设定在40以上,就可以将砂岩层分离出来;阈值设定在45以上,就可将油气层识别出来,进行油气藏的精细描述。

在有效储层数据体中,将阈值设定在1以上,即可将砂岩层分离出来;阈值设定在3以上,即可将油气层识别出来,进行油气藏的精细描述。

在油气藏高开发阶段,钻井及测录井资料足够的情况下,应用这种方法进行反演,能对油气藏或

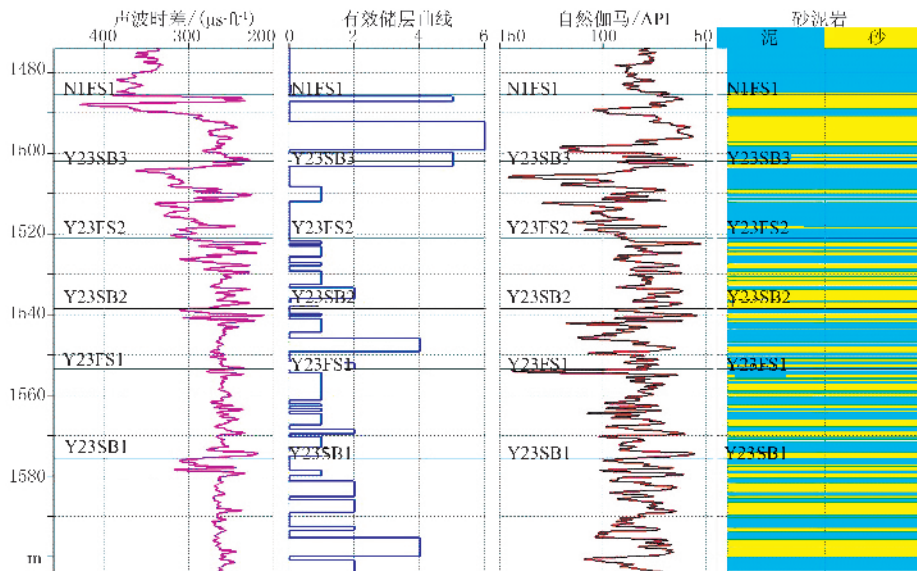


图3 Y64井测井曲线对比图

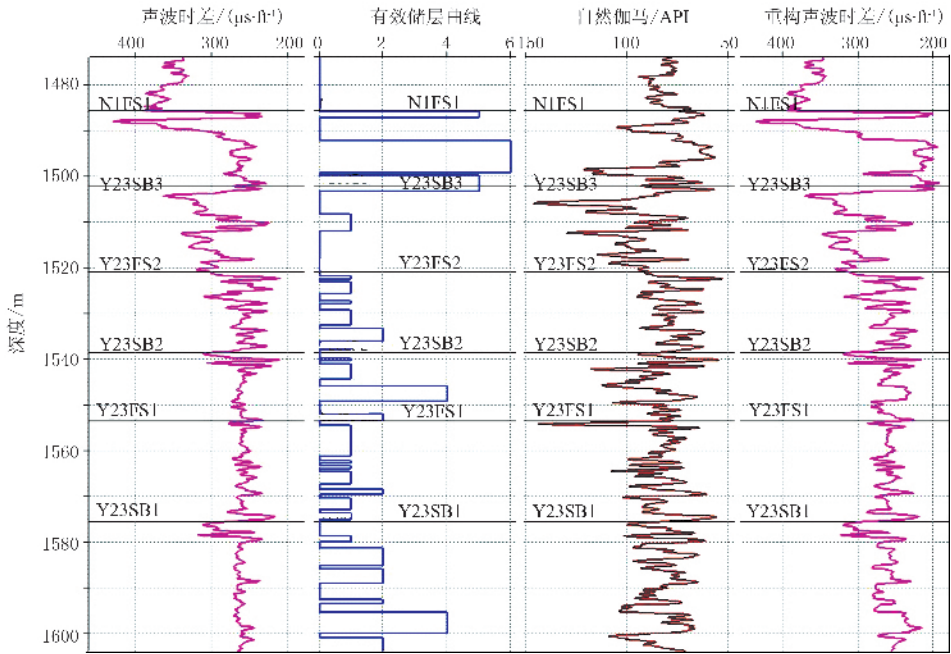


图 4 Y64 井声波时差测井曲线重构对比图

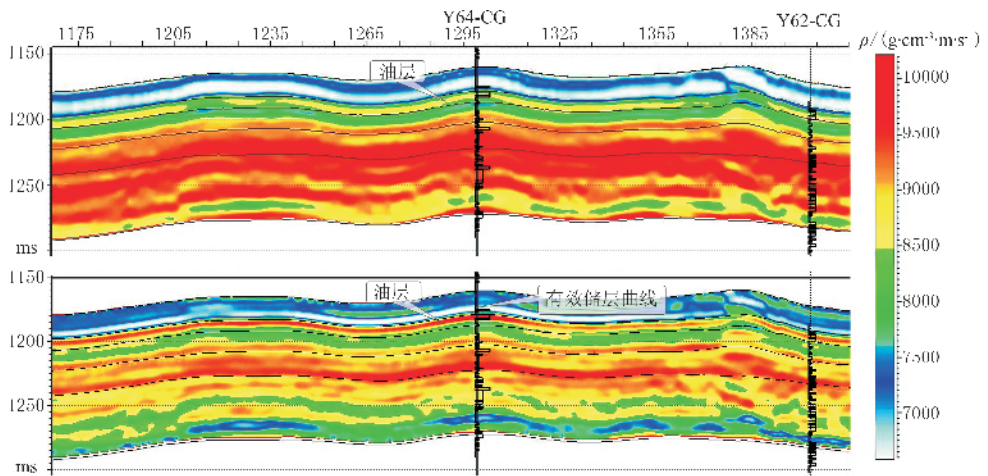


图 5 重构前(上)、后(下)井约束稀疏脉冲反演过井剖面对比图

单个砂体进行精细描述。

### 5 反演结果分析

对比井约束稀疏脉冲反演和地质随机模拟反演的结果,可以看出地质随机模拟反演方法对于上述由录测井资料获得的岩性曲线及有效储层曲线具有较高的分辨能力(图 6)。在图 6 中,上图为井约束稀疏脉冲反演过井剖面,下图是地质随机模拟反演过井剖面。由图可见,Y64 井 1492.2~1499.2m 有 7m 厚的油层;1499.8~1503.4m 是 3.6m 的差油层,中间夹 0.6m 的泥岩(参见表 2)。在两种反演剖

面上均无法将两层分开,原因可能是夹层太薄且受地震分辨率的限制。很显然,地质随机模拟反演的纵横向分辨率高于井约束稀疏脉冲反演。但只针对油层时,井约束稀疏脉冲反演的单层识别能力更高一些,因此在刻画单砂体或油层时,要根据实际情况进行综合分析,这样的研究成果才能更贴近油藏实际。

图 7 是 Y64 井地震记录、合成记录与地质随机模拟反演成果和井曲线对比图,很明显,反演成果与井吻合程度高,特别是油层在井点处能明显反映出来;而砂泥岩薄互层有时反映不明显,但总的趋势是明显的。

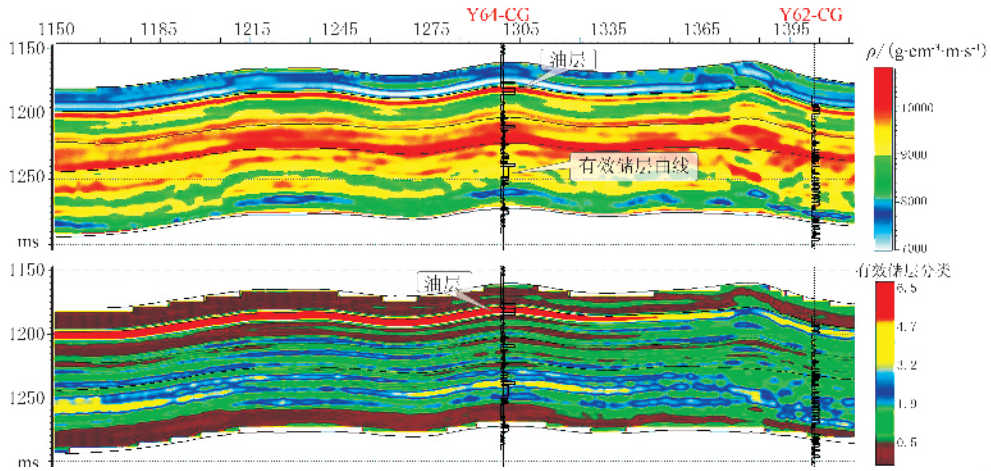


图6 井约束稀疏脉冲反演(上)与地质随机模拟反演(下)过井剖面对比图

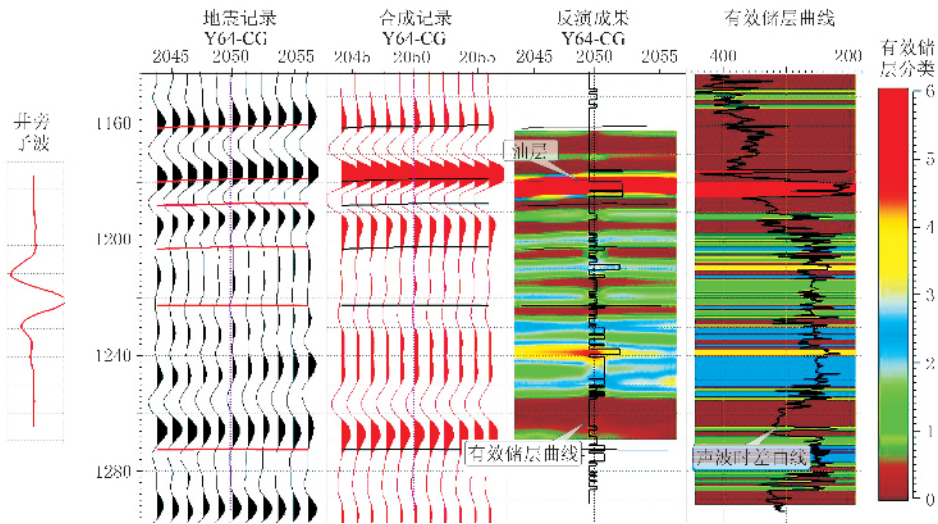


图7 Y64井地震记录、合成记录与随机模拟反演及井曲线对比图

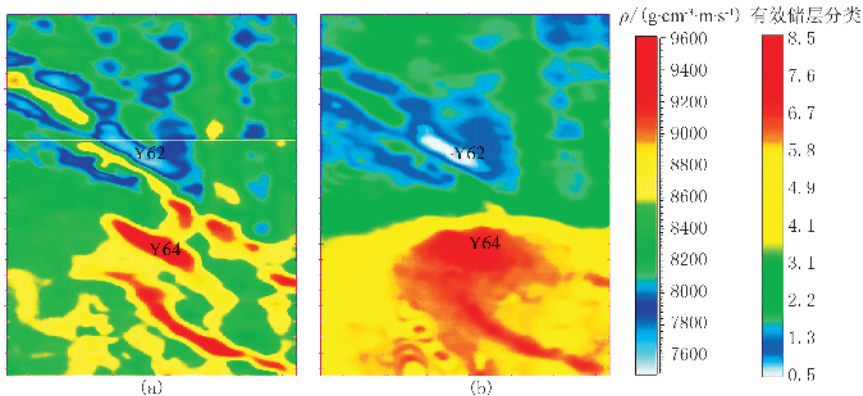


图8 Y64区块井约束稀疏脉冲反演(左)与地质随机模拟反演(右)属性平面对比图

图8是Y64区块井约束稀疏脉冲反演和地质随机模拟反演提取的平面属性对比图(Y64井油层井段:1492.2~1499.2m),左边是井约束稀疏脉冲反演提取的平面属性图,高值区是油层展布区域,河

道特征明显,油层边界清晰;右边是地质随机模拟反演提取的平面属性图,油层平面展布特征明显,但边界不够清晰,北部储层的展布特征基本相同。

图9是大庆油田古龙地区采用本文中有效储层

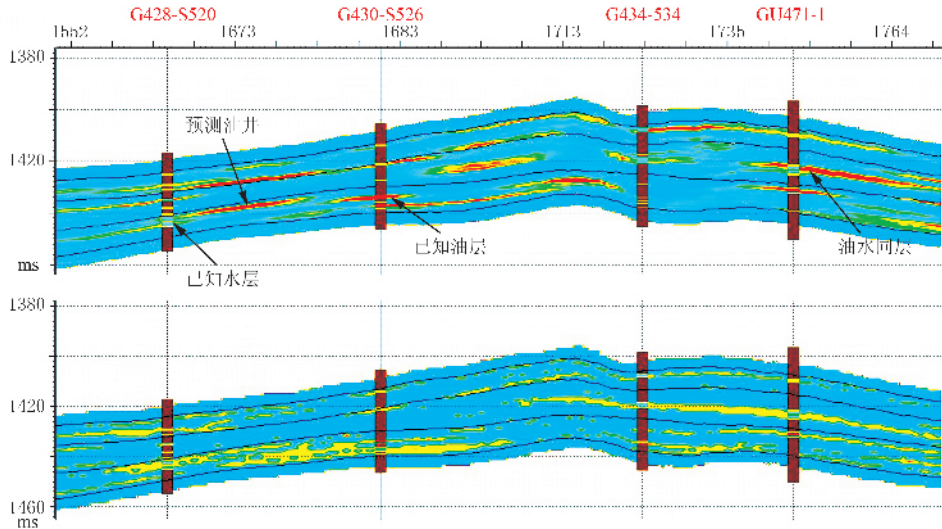


图 9 大庆油田古龙地区新方法(上)与传统方法(下)随机模拟反演剖面对比图

曲线所做的随机反演成果与传统方法岩性随机反演成果剖面对比图,由图可见,新方法反演剖面储层特征明显,尖灭清楚,能准确地识别油层,进行岩性圈闭描述。

用岩性曲线和有效储层曲线反演的成果,不管是井约束稀疏脉冲反演还是地质随机模拟反演,都能将砂岩储层和油气层识别出来,其反演成果更准确、更合理、更精细。它可以使油气层的属性值达到最高,在平面上提取属性值,分析高值异常区的展布特征。通过进一步分析,可以计算油气层厚度,从而分析油气层空间分布规律,为油田勘探开发提供准确、精细的基础资料。

## 6 结论

综上所述,录井岩性资料和测井解释成果数字化后,得到两条新的“测井曲线”——岩性曲线和有效储层曲线。这两条曲线均是反映储层岩性的原始资料,其赋值时均考虑油气优先的原则,这样在研究中可以通过限制门槛值将非储层分开,再进一步区分储层所含流体的性质——储层的有效性。如果在研究区有上述任何一种资料,都能用上述方法加以应用。如果研究区两种资料均有,那么两种资料均可以用于对比研究及应用。但应该优先使用测井解释成果,因为录井资料在现场采样时,由于井底的

岩屑随泥浆返回井口需要一定时间,这样在取样时会产生深度误差,而测井解释成果是通过多项资料综合解释而得的,它是后续各方面研究中必不可少的重要成果资料,所以应该优先使用。

## 参考文献

- [1] 贺懿,刘怀山,毛传龙等.多曲线声波重构技术在储层预测中的应用研究.石油地球物理勘探,2008,43(5):549~556
- [2] 陈钢花,王永刚.Faust公式在声波曲线重构中的应用.勘探地球物理进展,2005,28(2):125~128
- [3] 易平,林桂康.随机地震反演技术及在文昌13-1油田的应用.石油地球物理勘探,2005,40(1):87~91
- [4] 雷利安,徐美茹,曹学良等.带趋势序贯指示模拟方法在东濮凹陷薄砂岩储层预测中的应用.石油地球物理勘探,2005,40(1):92~96
- [5] 方雪芹,刘德菊,田军等.测井资料在松辽盆地岩性储层预测中的应用.石油物探,2007,46(5):496~500
- [6] 陆基孟.地震勘探原理.山东东营:石油大学出版社,1993
- [7] 魏立花,郭精义,杨占龙等.测井约束岩性反演关键技术分析.天然气地球科学,2006,17(5):731~735
- [8] 曹学良,曹延军,姜传恩等.胡状集地区地震岩性反演与储层预测.石油与天然气地质,2001,22(3):225~228
- [9] 孙旭一,李灿平,赵志超.岩性约束反演方法及应用.物探化探计算技术,1996,18(2):141~146
- [10] 徐爽,李怀礼,马克娜.利用地震岩性反演技术进行煤层厚度预测.西部探矿工程,2008,12:146~147

(本文编辑:张亚中)