

# 测井参数随机模拟在薄储层描述中的应用

王连桥,全钦飞,王科朋,贺 忠,赵 亮,阎振华,周东言

(中国石油东方地球物理勘探有限责任公司研究院乌鲁木齐分院,新疆 乌鲁木齐 830016)

**摘要:**葡萄沟地区葡 10 井区七克台组  $Q_1$  砂组砂层薄,横向变化快,非均质性强,常规波阻抗难以区分砂泥岩,制约了该区的开发进程。通过“地震波形指示马尔科夫链蒙特卡洛随机模拟(SMCMC)”算法,将地震、地质和测井信息有效结合,通过测井曲线标准化、敏感参数分析、储层精细标定、地质模型建立、似然函数及目标函数计算等重要环节,实现了葡 10 井区七克台组  $Q_1$  砂组 2 m 以上薄砂层的预测,反演结果与已知钻井匹配程度较高,后验井吻合率达 85%,为开发井位部署提供了强有力的技术支撑,并以此部署多口钻探井位,取得良好的钻探效果。

**关键词:**波形指示 薄储层预测 随机模拟 地震反演

中图分类号:TE321

文献标志码:A

## Stochastic simulation of logging parameters for description of thin reservoir

WANG Lianqiao, QUAN Qinfei, WANG Kepeng, HE Zhong,  
ZHAO Liang, YAN Zhenhua, ZHOU Dongyan

(Urumqi Branch of China Petroleum Geophysical Exploration Co. Research Institute, Urumqi 830016, China)

**Abstract:** In  $Q_1$  sand group of Qiketai Formation of P10 well in Putaogou area, there is thin reservoir, a rapid lateral variation, strong heterogeneity, and weak distinguishing ability of normal wave impedance. So the development process is hindered in this area. Using the algorithm including seismic waveform indication of Markov Chain and stochastic simulation of Monte Carlo (SMCMC), the information of seism, geology and logging can be effectively combined. By the means of standardization of logging curves, analysis of sensitive parameters, fine calibration of reservoir, geology modeling, and calculation of likelihood and objective functions, it was carried out the prediction of thin reservoir above 2 m of  $Q_1$  of Qiketai Formation. The inversion result is in good agreement with drilling, with a predication accuracy of 85%. Thus the predicated results can provide the technique support to the well deployment, with a good drilling effect.

**Key words:** seismic - indicator; thin reservoir prediction; stochastic simulation; seismic inversion

薄储层预测一直都是油气勘探开发难题。国内外学者采用了单一或融合地震属性等多种方法开展了储层预测,但多解性强,难以准确雕刻薄砂体的纵横向变化特征<sup>[1-2]</sup>;利用波阻抗反演预测方法,对于钻井多,井点分布均匀的地区适用性较好,但外推范围有限,较难精确落实薄储层的平面分布,且分辨率有限<sup>[3-5]</sup>。针对上述难题,通过基于地震波形指示的测井参数随机模拟反演薄储层预测技术,是目前解决薄储层预测难题的一种快捷、有效的技术方法,较好地实现了对薄储层的纵横向变化规律的刻画。

焰山断层上盘,东侧是胜北生烃次凹,南侧为胜南-神泉油气富集带,油气成藏条件较好。该区侏罗系七克台组发育多套辫状河三角洲前缘相水下分流河道砂体,岩性以灰色细砂岩为主,物性较好,具有“高产高效”的特点。主要发育  $Q_1$ 、 $Q_2$  两套油层,构造高部位两套均成藏,低部位仅  $Q_1$  成藏。前期勘探开发效果表明,研究区  $Q_1$  油层是高产油层,亦是该区增储上产的重点层段。

## 1 区域地质概况

葡萄沟油田位于吐哈盆地火焰山构造带西段火

收稿日期:2017-10-10。

第一作者简介:王连桥(1982—),硕士,油藏地质研究方向。E-mail:wanglianqiao01@cnpc.com.cn。

通过对研究区 12 口井 34 个样品资料录测井及岩心资料统计分析,可以看出研究区主力产层储层单层厚度较薄,主要分布在 2~8 m,超过 45% 的单层厚度在 2~4 m(见图 1)。且储层横向变化快,油水关系复杂,制约了该区滚动评价开发进程。针对这种薄储层,单一地震属性预测效果多解性强,常规的波阻抗反演技术分辨率难以达到。因此,选用一种有效的储层预测技术手段是该区油气藏滚动扩边的关键。通过多种技术方法的对比试验,在研究区首次开发应用了基于地震波形指示的测井参数随机模拟反演技术进行薄储层预测,取得了良好的滚动评价开发效果。

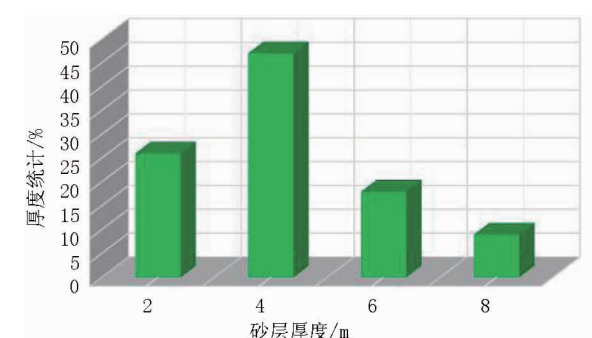


图 1 葡萄沟油田 Q<sub>1</sub> 砂层厚度统计分布柱状图

2 技术方法

2.1 方法原理

基于地震波形指示的测井参数随机模拟反演(以下简称“地震波形指示反演”)是在传统地质统计学基础上发展起来的新统计学方法,采用了基于

“地震波形指示马尔科夫链蒙特卡罗随机模拟(SMCMC)”算法,采用“相控随机模拟”思想,统计样本时参照波形相似性和空间距离两个因素,在保证样本结构特征一致性的基础上按照分布距离对样本排序,从而使反演结果在空间上体现了地震相的约束,平面上更符合沉积规律(见图 2)。

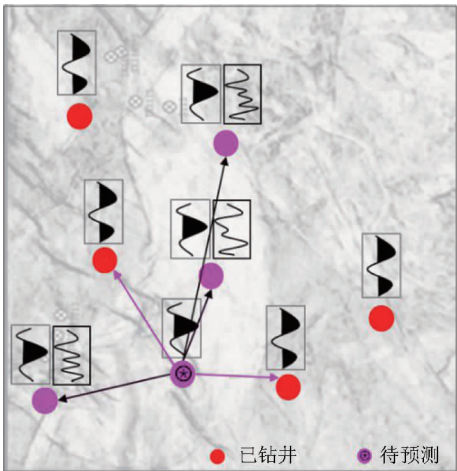


图 2 “地震波形指示反演”平面解析图

2.2 地震波形指示反演技术

2.2.1 优点分析

地震波形指示反演是传统地质统计学反演技术的延伸,综合利用了测井资料纵向分辨率高,地震资料横向分布范围广的优点,利用地震波形相似性优选相关井样本,再统计空间分布距离和曲线特征建立初始模型,对高频成分进行无偏最优估计,比传统变差函数更好地体现相控特征(见表 1)。

表 1 地震波形指示反演与地质统计学反演、多属性反演的区别

	地震波形指示反演	地质统计学反演	多属性反演
原理	基于“地震波形指示的马尔科夫链蒙特卡罗随机模拟”算法,采用“相控随机模拟”思想	利用马尔科夫链-蒙特卡罗算法,根据概率分布函数获得统计意义上正确的样点集	利用统计的方法建立地震与测井之间的关系,预测井曲线属性
特点	突破地震分辨率限制的同时保证了良好的准确性和可靠性	与井对应关系良好	不使用任何先验模型
适用性	尤其适用于某一种或几种岩性参数具有明显差异的薄储集层预测	适用于井较多的开发阶段	常规或非常规储集层评价
输出结果	声波、密度、电阻率、自然电位、自然伽玛、孔隙度等储层地质参数	波阻抗及其他岩性参数	任意曲线数据体

(1)SMCMC 算法是在贝叶斯框架下将地震、地质和测井的信息有效结合,利用地震波形信息指导井并进行高频模拟,是一种全新的井震结合方式。

(2)利用地震波形特征代替传统变差函数分析储层空间结构变化,提高了横向分辨率,且更符合平面地质规律。其数学模型如下:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

式中, $Z(x_0)$ 为未知点的值, $Z(x_i)$ 为波形优选的已知样本点的值, $\lambda_i$ 为第*i*个已知样本点对未知样本点的权重,*n*为优选样本点的个数。

(3)采用全局优化算法,反演结果从完全随机

到逐步确定,确定性大大增强。

(4)采用非空域统计方法,对井位分布没有严格要求,是目前唯一解决井位不均匀问题的反演方法,特别适合滚动勘探开发。

### 2.2.2 缺点分析

地震波形指示反演技术反演结果具有“低频确定、高频随机”的特点,低频主要受地震相控,高频则主要受井样本影响。因而,地震资料及钻测井资料品质直接影响反演结果的精确度。

## 3 技术应用及效果分析

### 3.1 地震波形指示反演技术的应用

储层敏感参数分析(见图3)表明,波阻抗难以有效表征储层,测井参数中  $SP$  曲线对储层较为敏感,储层段主要表现为  $SP$  负异常, $SP$  小于  $-20$  mV 为砂岩, $SP$  大于  $-12$  mV 为泥岩。因此采用井震结合的方法,对  $SP$  曲线进行高分辨率模拟,以达到有

效储层预测的目的。

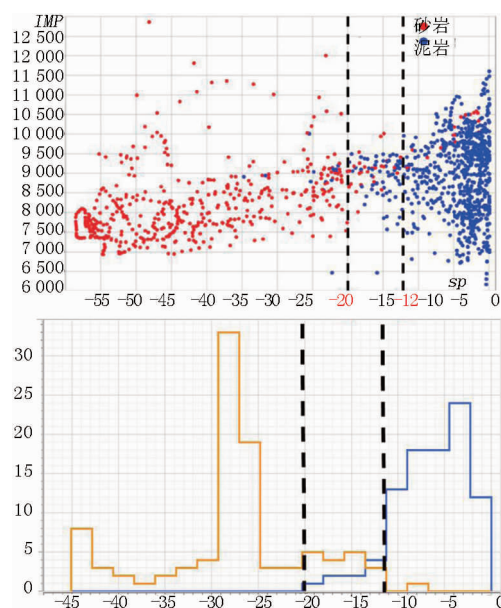


图3 葡萄沟油田葡10井区砂泥岩识别量化图版

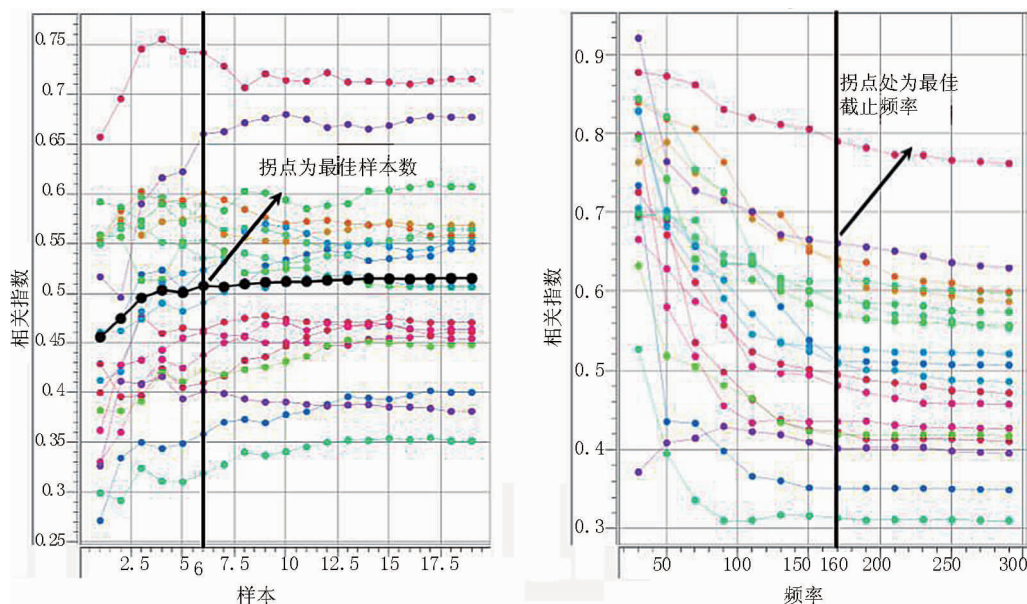


图4 样本数与最佳截止频率质量监控图

反演过程中有2个参数对反演结果产生较大影响,即有效样本数和最佳截止频率。“有效样本数”指井旁地震道波形相似性与样本数量间关系,是井样本数和地震相关性统计的结果,主要表征地震波形空间变化对储层的影响程度。样本数较大表明储层横向稳定,反之说明横向变化快,非均质性强。“最佳截止频率”指反演体最大频率,反演结果具有“低频确定、高频随机”的特点。低频主要是受地震相控,高频则主要受井样本影响。如果更偏向于反演的确定性,该参数不宜设置太高,反之,如果更偏向于反演分辨率,能够接受随机的结果,可以设置较

高的截止频率。从样本数与频率值质量监控图(见图4)可以看出,当研究区样本数为6,最佳截止频率值为160 Hz时,相关指数变化相对趋于平稳。

### 3.2 应用效果分析

应用地震波形指示反演对葡萄沟地区葡10井区七克台组  $Q_1$  砂组主力储层段开展了预测分析,从东西向地震波形指示反演和地震叠合剖面(见图5)可以看出,储层横向变化主要受地震波形相似性和空间距离2个因素制约,而非钻井内插出来的随机结果。图5中葡10-X1、葡10-X2及葡10-X4井为参与反演井,葡10-X3井为验证井, $Q_1$ 顶部发育



一套厚度约 2 m 的薄砂层,横向变化快,葡 10 - X1、葡 10 - X4 均发育该套砂体,葡 10 - X2 则出现砂体尖灭。根据地震波形特征,可以看出  $Q_1$  顶部强波峰反射界面横向变化明显,东西两翼均出现子波旁瓣,波组特征有变化,向中间收敛消失。验证井葡 10 - X3 井震响应特征与反演结果吻合较好。

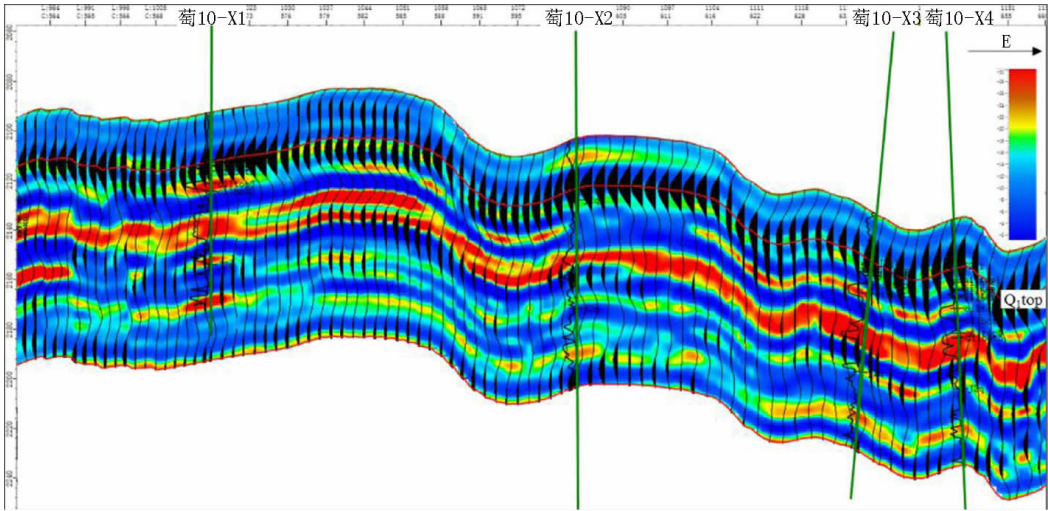


图 5 葡 10 井区连井地震波形指示反演和地震叠合剖面

通过对预测结果与已钻井储层特征进行对比分析,研究区共 34 口井,选取其中 20 口井参与反演,吻合率达到 90%,验证井 14 口,吻合率亦达到 85%,达到了研究区储层预测所要求的精度。从预测平面图(见图 6)可以看出,研究区  $Q_1$  砂组自西向东主要分布 5 个砂体发育区,表现为南东—北西走向的多个辫状河道砂体。考虑到工区地震资料边界效应,结合构造特征,提出了第一批井网部署方案,主要分布在②~⑤号砂体。其中⑤号砂体目前钻井少,砂体发育面积大,是滚动扩边潜力区。

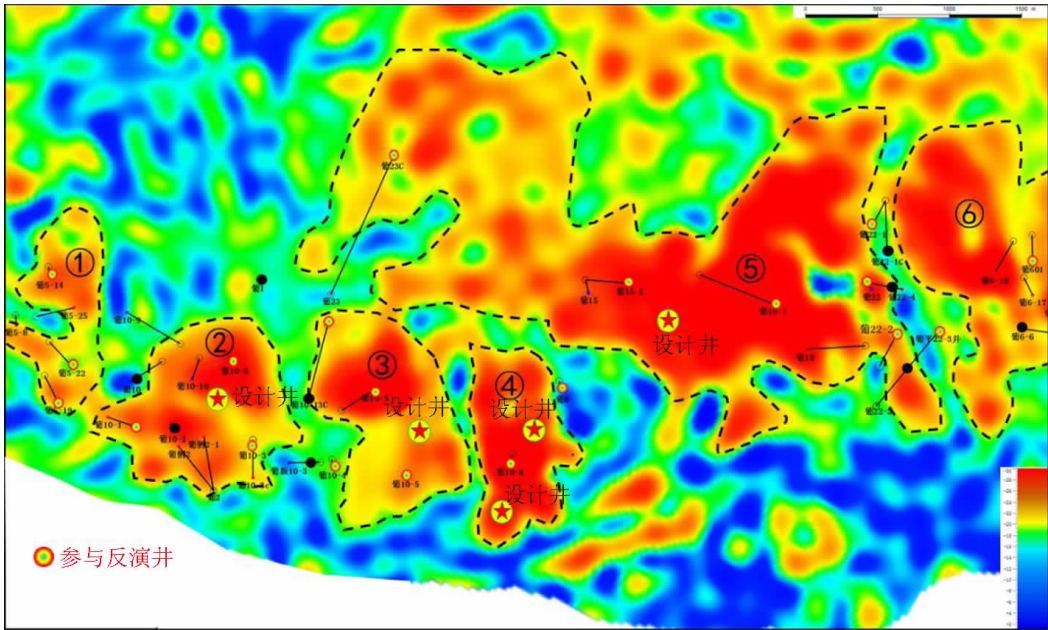


图 6 葡萄沟油田葡 10 井区  $Q_1$  砂组油层段砂体分布预测平面图

从连井反演剖面(见图 7)可以看出,葡 15 - X 井在  $Q_1$  砂组顶部发育两套薄砂层油藏,均获得工业油气流,为了落实两套油层的储量规模,在该井东南方向⑤号砂体发育中心区建议一口侧钻井,实钻结果与反演预测结果相一致,已经完试的第二套油层获得高产油流,日产油达 7 t,日产气 2 024  $m^3$ 。该井的突破进一步落实了  $Q_1$  砂组油气藏的含油气范围及储量规模,为下步开发井网部署提供依据。

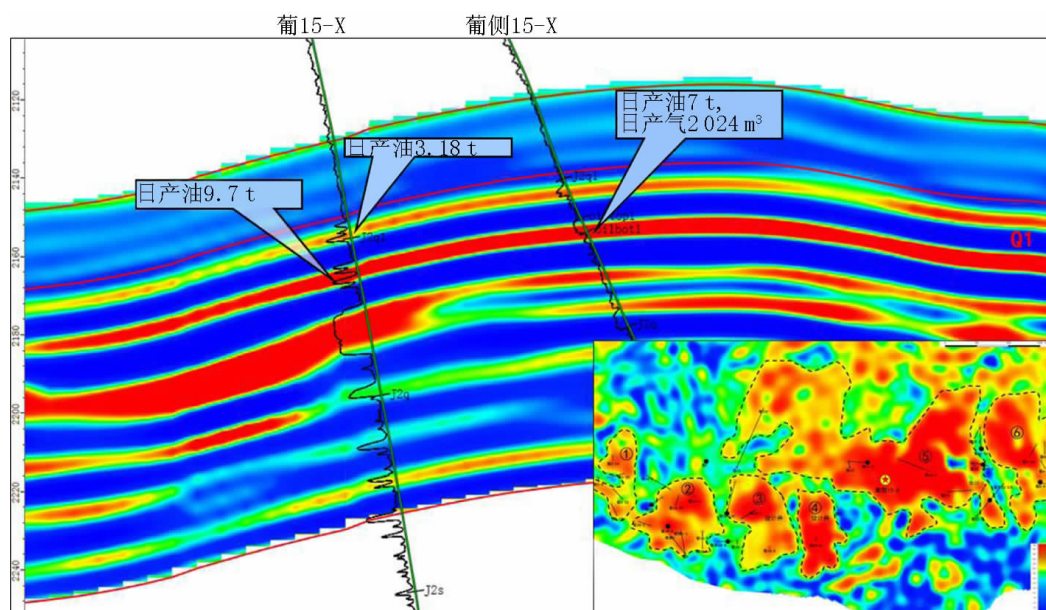


图7 葡萄沟油田葡10井区连井地震波形指示反演剖面

## 4 结论与认识

(1) 研究区主力砂层段以辫状河三角洲前缘相水下分流河道砂体为主, 单层厚度薄, 横向变化快, 常规波阻抗反演难以满足该区储层预测的需求。

(2) 基于地震波形指示的波形指示模拟, 采用地震波形驱动的井曲线模拟技术, 充分利用地震波形的横向变化来反应储层空间的相变特征, 更好地体现了相控的思想, 反演结果准确性更高。

(3) 通过对研究区七克台组  $Q_1$  砂体基于  $SP$  曲线的高分辨率模拟, 实现了对该区薄储层的预测, 且精度较高, 为滚动评价开发及井位部署提供了技术支撑, 并取得了较好的钻探效果。

### 参考文献:

- [1] 高君, 云美厚, 王晓红. 针对薄互层储集特点的地震属性优化技术及应用效果[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(3): 91-93.
- [2] 张江华, 林承焰, 王友净, 等. 地震地质精细预测技术在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(2): 206-212.
- [3] 沈财余, 江洁, 赵华, 等. 测井约束地震反演解决地质问题能力的探讨[J]. 石油物探, 2002, 37(4): 372-376.
- [4] 吕公河, 于常青, 董宁. 叠后地震属性分析在油气田勘探开发中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 161-166.
- [5] 黄捍东, 张如伟, 赵迪, 等. 地震反演与属性耦合检测薄层含气砂岩[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(2): 185-189.

(编辑 谢 葵)

## 江苏油田首口直接投产探井喜获高产油流

江苏油田勘探开发管理部成立后尝试直接投产的第一口探井——NX19井, 经勘探、开发、工程的紧密结合, 制定合理、高效的方案, 完井后仅10天, 于3月18日实现了投产, 且获得日产油11 t的高产工业油流。该井缩短了近一个月的施工周期, 节约探井试油直接投资近80万元, 探索出一条快节奏、低成本的高效勘探开发新思路。

NX19井是金湖凹陷卞南地区的一口勘探评价井, 钻探目的层为阜三段, 钻探过程中见到良好油气显示, 测井解释油层4层9.9 m, 油干层1层1 m。钻井取芯和测井解释证实油层物性较好, 油层埋深较浅。

NX19井于3月9日完井。13日, 相关管理部门及时组织勘探、开发、工程专业相关人员, 召开后续试油试采方案讨论会, 认为该井油层埋深浅、电性特征明显、储层物性好, 有较好产能。同时, 该井靠近周边的地面流程, 可以快速接入管网。最终, 决定打破原来探井试油测试结束后再交采油厂试采和生产的工作流程, 采用直接投产的方法, 实现了该井快速、高效投入开发。

(油 科)