

文章编号: 1009-3850(2001)01-0033-05

焉耆盆地宝浪油田宝中区块波阻抗反演储层预测

隋少强¹, 孙尚如²

(1. 成都理工学院, 四川 成都 610059; 2. 河南石油勘探开发研究院, 河南 南阳 473132)

摘要: 笔者采用波阻抗反演技术, 对新疆焉耆盆地宝浪油田宝中区块 8 个小层的砂体厚度进行了横向预测。该方法的关键在于对测井资料的应用, 也就是测井资料的约束条件, 使得反演结果具有较高分辨率和可靠性。通过预测, 认清了该区块砂体从上至下的分布规律, 克服了“一孔之见”的缺陷, 增强了预见性, 减少了风险性, 为编制开发方案奠定了基础。

关键词: 波阻抗反演; 储层预测; 宝浪油田

中图分类号: P631

文献标识码: A

Hydrocarbon reservoir prediction of the Baozhong block, Baolang oil field, Yanqi Basin, Xinjiang using the inversion technique of wave impedance

SUI Shao-qiang¹, SUN Shang-ru²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Research Institute of Oil Field Exploration and Development, Nanyang 473132, Henan, China)

Abstract: The inversion technique of wave impedance has successfully been employed in the prediction of eight reservoir sandstone beds within the Baozhong block, Baolang oil field, Yanqi Basin, Xinjiang. The technique is mainly developed on the basis of well logs, especially the constraints on the well logs. Therefore the results of inversion obtained have higher resolution and reliability. The distribution of sandstone bodies may well be delineated with the aid of this method, and thus the risks on exploration and exploitation may be decreased to the least degree.

收稿日期: 2000-05-10

作者简介: 隋少强(1964—), 男, 成都理工学院在读博士, 油田开发工程专业。

Key words: inversion technique of wave impedance; reservoir prediction; Baolang oil field

宝浪油田所属的宝浪苏木构造带位于新疆焉耆盆地博湖坳陷的北部凹陷中部,宝中区块是该构造带中部的一个不对称背斜构造,区块面积小于 10km^2 ,从上到下沉积盖层有第四系、第三系、侏罗系和三叠系,主要储油层位是下侏罗统三工河组,其次为中侏罗统西山窑组。该区块已发现工业性油流并投入了开发。

本次储层预测的是三工河组四个油组中的 8 个小层。横向预测结果与后来的钻井结果相吻合,厚度符合率达 80% 以上,表明用波阻抗反演法进行储层横向预测是可靠的。

波阻抗反演法的关键在于测井约束条件的应用,它从地质模型出发,通过计算修正模型,使正演合成地震记录与实际记录达到最佳吻合,最终的模型数据就是反演结果^[1~3]。

1 波阻抗反演的基本原理

对于一个给定的地质模型,各层厚度、速度、密度参数分别为 $d(i)$ 、 $v(i)$ 、 $\rho(i)$ ($i=1, 2, \dots, N$), N 为地质模型中反演的地层数目,地震波在各层中的垂直传播时间为^[4]:

$$t(i) = \frac{2d(i)}{v(i)}$$

第 i 层顶部的反射时间为:

$$t(i) = \sum_{j=1}^{i-1} t(j)$$

该模型建立的地震记录可表示为:

$$S(i) = \sum_{j=1}^{i-1} r(j) \cdot \omega(i - t(j) + 1) \quad i=1, 2, \dots, N$$

式中 S 为地震信号, i 为样点序号, N 为样点数, ω 为地震子波, r 为地震反射系数。它的矩阵形式为:

$$S = WR \quad (1)$$

其中: $S = [S(1), S(2), \dots, S(N)]^T$

$$R = [r(1), r(2), \dots, r(N)]^T$$

W 为 $N \times N$ 阶子波矩阵

设 N 层地质模型各层波阻抗初值为 $I_0(i)$, 其对数可表示为:

$$L(i) = \log[I_0(i)] = \log\left[I_0(0) \prod_{j=1}^i \frac{1+r(j)}{1-r(j)}\right]$$

对上式作级数展开,略去高次项有:

$$L(i) = L(0) + \sum_{j=1}^i 2r(j) \quad i=1, 2, \dots, N$$

上式表明第 i 层对数波阻抗近似等于上覆界面反射系数代数之和的两倍,因此有:

$$r(i) = \frac{1}{2} [L(i) - L(i-1)] \quad i=1, 2, \dots, N$$

地层反射系数与其对数波阻抗的关系写成矩阵形式有:

$$R = DL \quad (2)$$

式中 $r = [r(1), r(2), \dots, r(N)]^T$

$$L = [L(1), L(2), \dots, L(N)]^T$$

D 为 N 行 $(N+1)$ 列系数矩阵。则把(2)式代入(1)中, 则有: $S = WDL$

实际测量地震记录为 T :

$$T = [t(1), t(2), \dots, t(N)]^T$$

模型道 S 与实际记录 T 之差为 $E = T - S$, 则目标函数是:

$$J = E^T E = (T - WDL)^T (T - WDL)$$

这样, 目标函数 J 使波阻抗与实际地震资料发生联系, 使 J 最小就是使计算的合成地震记录与实际记录误差最小。其具体采用共轭梯度法实现, 通过迭代逐次修改模型, 求取最佳的地层波阻抗值。

2 测井约束反演

2.1 测井资料处理

所应用的测井资料必须消除如泥浆浸泡、井壁垮塌等环境因素的影响, 才能获得真实准确的反演结果。所进行的联井线反演, 即是对沿联井线储层变化的初步研究和为三维数据体进行反演选取可靠参数的过程, 也是对所用井资料进行检验的过程。

2.2 时域地层波阻抗模型的建立

波阻抗模型的建立是通过声波测井时深转换实现的。依据合成地震记录与井旁地震的对比, 以地震记录为准, 对测井曲线进行微调, 消除声波测井误差, 改善合成记录, 精确标定各岩性界面在地震记录上的反射位置。

2.3 子波提取

子波提取^[5,6]有三种方法。一种是统计法, 利用地震记录估算子波振幅谱, 确定相位后得到子波; 第二种是利用地震记录, 根据已有测井资料, 在井旁记录道中用最小值求取子波; 第三种是在地震记录求得子波振幅谱后参考井资料和井旁道确定相位。在具体处理中经过多次反复实验选取一个 45° 相位的雷克子波, 主频约 35Hz。

2.4 建立初始波阻抗模型

这一过程实际上就是把横向连续变化的地震信息与高分辨率测井纵向信息结合的过程。精度与以下两个因素有关:

(1)地震采样率: 为了能反映薄层的变化, 要加密地震记录采样率, 提高纵向分辨率。为此将地震记录采样率加密到 1ms。

(2)地震层位精细解释: 一般尽可能选靠近目的层的反射界面, 横向上能连续追踪, 在这里选取了 I、II、IV 油组的顶界反射标志层进行层位拾取, 并且为了保证拾取的准确性, 以选用西山窑组顶界强反射波组底为主要标志层位向下对比, 使地震记录与测井资料匹配得尽可能好, 以保证反演的精度。

2.5 声波数据校正

宝中区块的声波测井质量存在一些问题, 为了保证反演质量, 笔者采用了电阻率对声波进行校正。同时由于自身分辨率的影响, 对一些砂泥互层的薄砂层也难以保证其精度。在此采用两步法来对声波进行校正:

(1)电阻率 R_t 校正声波

$$\phi = A + B \cdot AC$$

(1)

由阿尔奇公式可以得到: $S_w^n = \frac{a \cdot b \cdot R_w}{\Phi^n \cdot R_t}$

(2)

结合 (1), (2) 两式得到最终校正数学表达式:

$$AC = \frac{1}{B} \left[m \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot R_w}{S_x^n \cdot R_t}} - A \right]$$

(3)

式中 A 、 B 、 a 、 b 系数; m 、 n 为指数; S_w 为含水饱和度; ϕ 为孔隙度。

(2) 为了提高声波对薄砂层的分辨率, 采用自然伽玛正声波方程:

$$AC' = AC + 100 \sqrt{\frac{GR}{GR_{max}}}$$

但是为确保地震反演的准确性, 仅用该方程的校正泥岩段。

3 预测结果和主要砂体描述

在获得了可靠的反演结果后, 对本区块所划分的四个油组 8 个小层进行了追踪、解释, 在这里主要描述 III₁ 和 III₂ 两个主要含油层(图 1)。

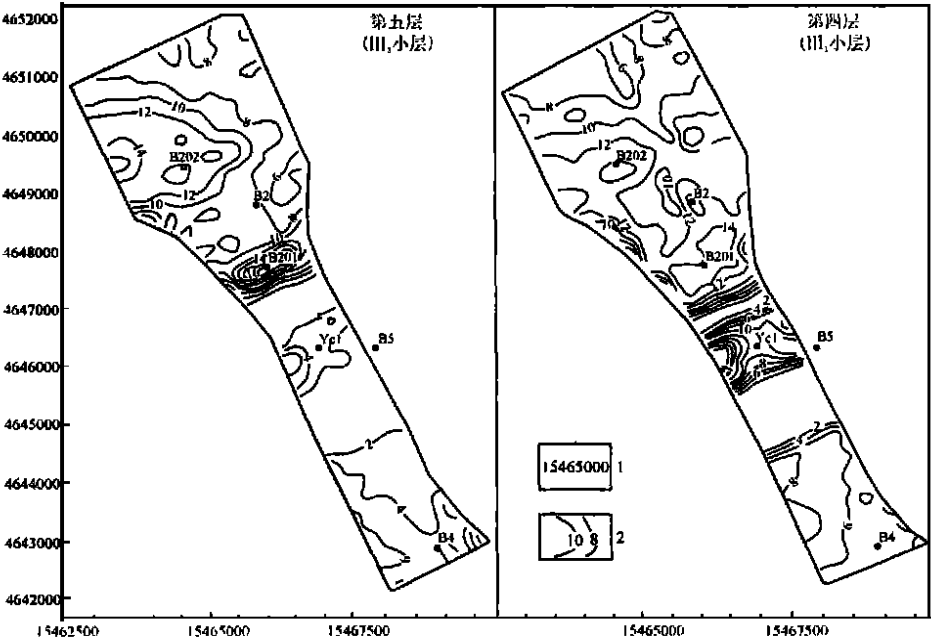


图 1 主要预测层砂体厚度平面分布图

1 经纬度 2 等厚线/m

Fig 1 Plan showing the variations in the thickness of major reservoir sandstone bodies

1=latitude and longitude; 2=isopach (m)

3.1 III 小层

该层砂体明显可划分为三部分,第一部分为北部,基本上以宝 201 井偏南为界,向北分布均匀、稳定,厚度变化不大,多在 8~12m 之间,有利部位恰好处于宝 201 井、宝 202 井和宝 2 井之间,厚度基本上都在 14m 左右,目前这一井区是本区块的主要产油区。第二部分位于区块中部,以焉参 1 井为中心,厚度 10m 左右,范围在 2~18m 之间,向北向南缺失,逐步又出现,向南变化出现第三部分,这部分厚度小,但分布均匀,厚度在 2~6m 之间,宝 4 井处于这部分。

3.2 III₂ 小层

该层砂体与第四层相似,从北向南分为四部分。第一部分在宝 202 井、宝 2 井周围,厚度为 8~14m,变化均匀、缓慢,以宝 202 井为中心,向外减薄。第二部分位于宝 201 井附近,厚度 6~16m,变化较快。第三部分以焉参 1 井为中心,厚度仅为 2~4m,呈孤立似朵状分布,向南北两侧尖灭。第四部分在宝 4 井及其周围,厚度不大,变化均匀,只有 4m 左右。

4 结论

该方法经过多年来在油田的实践,对砂泥岩薄互层储层类型的分辨率高、效果好。通过对宝中区块开发早期阶段开展波阻抗反演储层横向预测,总体上搞清了宝中区块储层展布和大致规律,克服了“一孔之见”的局限,增强了预见性,减少风险性,取得了较好的开发效果。

参考文献:

- [1] 李庆忠. 论地震约束反演的策略[J]. 石油地球物理勘探, 1998, (4): 423—438
- [2] 沙磊等. 地震和测井资料联合反演储层物性参数计算方法[J]. 物探勘探计算技术, 1997, 19(1): 11—14.
- [3] 董恩清等. 波阻抗约束反演及储层物性参数计算方法[J]. 测井技术, 1998, 22(5): 8—10
- [4] 张宏彬等. 宽带约束反演算法[J]. 石油物探, 1995, (1): 1—8.
- [5] 郭向宇等. 混合相位子波的相位估算及校正[J]. 石油地球物理勘探, 1998, (2): 214—221.
- [6] 梁光河. 测井约束地震子波外推方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 1998, (3): 296—304.