

鄂尔多斯盆地乌审旗上古生界砂岩地震预测

夏正元¹, 王宝江^{1,2}

(1. 长庆油田公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021; 2. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069)

摘要:针对鄂尔多斯盆地乌审旗区主要是含气砂岩与泥岩,其波阻抗差较小,气层厚度较薄的特点,应用并发展了一套储层地震预测技术,包括地震波形分类技术、地震波阻抗反演技术和储层含气性地震预测。经对19口井的钻前预测,砂岩预测符合率达84%,物性及含气性预测符合率达79%,发现了 $1\ 000\times 10^8\text{ m}^3$ 储量的乌审旗气田。

关键词:上古生界;地震预测;波阻抗;储层;反演;鄂尔多斯盆地

中图分类号:P631 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274X(2003)06-708-05

鄂尔多斯盆地乌审旗区主要储气层为上古生界二迭系石盒子组盒8和山西组山1砂岩。其岩性为岩屑石英砂岩,两套砂岩与泥岩之间分别可形成中-弱振幅反射。其储层地震预测的难点为:①储气砂岩速度与砂质泥岩、泥岩速度相近;②气层厚度较薄。本文主要采用地震波形特性分类、地震反演和储层含气性地震预测等3项关键技术,预测了该区砂岩储层的分布及含气性,且取得了良好的勘探效果。

1 盒8、山1砂岩地球物理特征

盒8段砂岩速度 $4\ 400\sim 4\ 600\text{ m/s}$,密度 $2.4\sim 2.6\text{ g/cm}^3$,波阻抗 $11\ 000(\text{m/s},\text{g/cm}^3)$;泥岩速度 $4\ 000\sim 4\ 300\text{ m/s}$,波阻抗 $9\ 360\sim 10\ 250(\text{m/s},\text{g/cm}^3)$ 。山1段砂岩速度 $4\ 500\text{ m/s}$,密度 2.5 g/cm^3 ,波阻抗 $11\ 000(\text{m/s},\text{g/cm}^3)$;泥岩速度 $4\ 100\sim 4\ 400\text{ m/s}$,波阻抗 $11\ 000\sim 12\ 000(\text{m/s},\text{g/cm}^3)$ 。盒8和山1气层的主要地球物理特征为“二低、二高、一大、一中”,即低自然伽马、低密度,高电阻率、高补偿中子,大自然电位幅度,中低波阻抗。

2 利用地震波形分析定性预测砂体

利用高分辨率地震资料,结合地质、钻井、测井等信息,对地震地质层位进行准确的标定,通过模型

正演建立盒8、山1砂体地震解释模式,根据盒8、山1地层地震波形特征分析,对砂岩进行定性预测。

2.1 河道砂岩体地震反射解释模式

根据鄂尔多斯盆地中部二叠系地层及参数,建立了盒8和山1砂岩透镜体模型。设计厚度为 $0\sim 20\text{ m}$,用主频为 45 Hz 的雷克子波制作地震正演合成记录,砂体在地震响应上有一明显的透镜状反射,砂体底部反射下凹, $T_{p8}-T_{p7}$ 时差可反映砂体厚度的变化。据此,可用砂体的地震反射结构及形态定性预测砂体的厚度。

2.2 利用地震波形分析定性预测砂体厚度

首先,在各井地震地质层位标定结果的基础上,从井出发,由点到线,在高分辨率地震剖面上追踪出 $T_{c3}, T_p, T_{p8}, T_{p7}$ 等各层地震反射波,再由线到面解释出全区地震剖面上各层的地震反射波。然后,根据河道砂岩体地震反射解释模式,分析各井在实际地震剖面上的 $T_{p7}-T_{p8}$ 地震反射波形特征,并依据4类砂岩储层反射波形与储层厚度的关系,建立起4种解释模式(见图1)。

2.3 地震相分析技术

地震相分析技术,是利用神经网络在一个层段内(大于半个相位)地震道的形状进行快速扫描获取模型道,通过相似性的原则赋给每个地震道一个对应的模型道,得出与地质相对应的地震相图,并可与测井曲线对比,从而更详细地解释地震资料的地质

收稿日期:2002-03-01

基金项目:中国石油天然气集团公司资助项目(99-110-03)

作者简介:夏正元(1963-),男,江苏盐城人,长庆油田高级工程师,从事目标处理及储层预测研究。

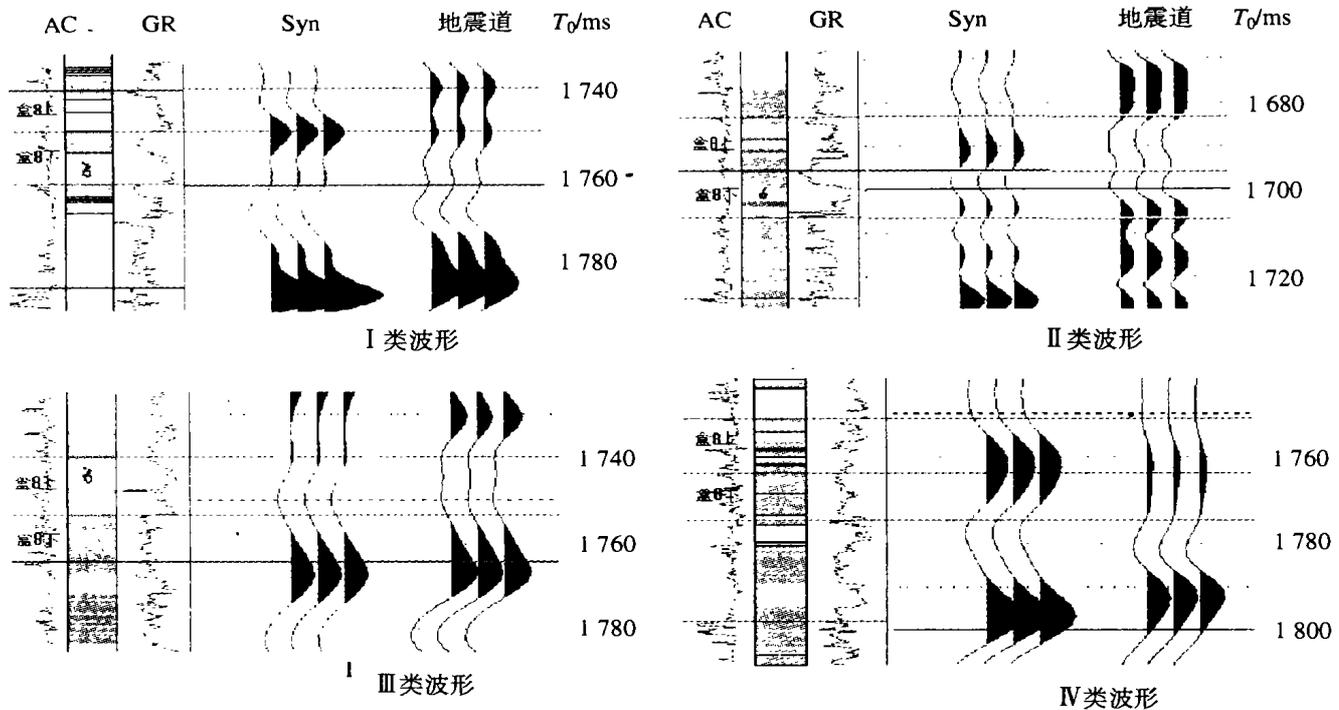


图 1 乌审旗区储层地震波形特征分类图

Fig. 1 The shape classifications of the seismic wave character of reservoir bed in Wushenqi Area

内容。利用这一技术,在 w1 三维地震区块进行储层地震地质研究,取得了较好的效果。

3 半定量、定量预测砂体的地震反演技术

3.1 道积分技术

该技术将界面型的地震道转化为似相对波阻抗曲线^[1],具有直观的地质含义,在地质模型不清楚或地质模型变化大的地区,应用此项技术对 20 m 以上的中、高波阻抗砂体厚度的解释取得了一定的效果。

3.2 Seislog 地震岩性反演技术

Seislog 是一种地震直接反演技术,是无井约束反演。地震资料经高频补偿、相位校正和子波处理后,把地震信号变成反射系数序列,再由地震反射系数与波阻抗之间的关系,从上到下逐步递推出各层的波阻抗。Seislog 地震岩性反演技术的优点是,可在无井或少井的地区进行地震岩性反演,但其分辨能力主要取决于原始地震资料的频率。

3.3 Parm 地震动力学反演技术

用单井建模,是在规则精化约束条件下,交替求取井旁 CDP 道的波阻抗(反射时间的函数)和子波(表现为一参数的形式,由频率、衰减、相移和归一化来决定)的初步近似值,使均方根误差达到最小,以

修正近似值,沿地震测线各道的初始近似值是用它上一个最接近的地震道反演结果,由此逐道地完成全测线反演。

3.4 Strata 地震岩性反演技术

Strata 是加拿大 Hampson-Russell 公司研制的一种井约束条件下模型化地震岩性反演软件,在精细处理的 Strata 地震反演剖面上进行储层岩性解释。首先,从井出发标定出主要目的层层位(如盒 8 段地层的顶界、底界),然后根据速度的高低(或波阻抗高低)确定岩性,高速和中速解释为砂岩,低速解释为泥岩。图 2 是 96573 测线 Strata 地震波阻抗反演剖面,可清晰地看出盒 8 砂岩的变化。

4 砂岩物性及含气性地震预测技术

目前,砂岩含气性预测技术包括 4 大类:亮点(暗点)技术、频谱分析技术、AVO 分析技术和模式识别,这几类技术预测含气性具有一定的局限性和适用范围,对单个地震属性的解释也存在多解性。因此,根据本地区盒 8 和山 1 储层的特点,从已知井和实际地震资料出发,总结出本区储层物性的含气性预测实用而有效的一些技术。

4.1 频谱能量特征分析技术

气层对地震波的高频信息具有很强的吸收作用。研究表明,频谱特征值 F 与气层物性($h \times \varphi$)及

气层丰度($h \times \varphi \times S_g$)具有一定的线性关系,气层含气丰度与地震波频谱特征 F 成反比,含气丰度越高, F 值越小。因此,可用此特征预测盒 8 段砂层的含气性。例如,96657 测线盒 8 段频谱特征曲线 F 值

低,反映储层含气性较好。如据该技术提供的成果,w5 井获得工业气流。但是,该技术要求地震资料的质量较好,记录的频带较宽。

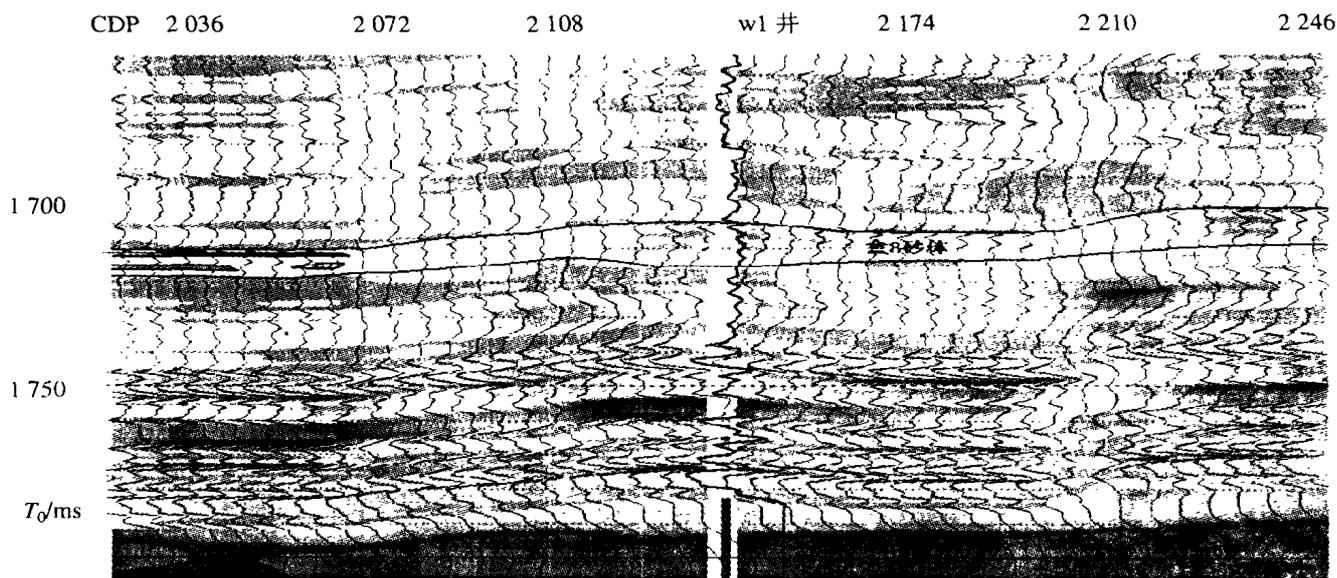


图 2 96573 测线 Strata 地震波阻抗反演剖面

Fig. 2 The impedance section of the 96573 line acquired by strata inversion program of hampson-russell inc

4.2 储层反射振幅能量分析

在泥岩地震速度不变的情况下,致密砂岩与泥岩之间的反射系数大,含气砂岩与泥岩之间的反射系数小,即砂岩含气后反射波振幅变弱。因此,应用储层地震反射波振幅能量可定性预测砂岩含气性,该区 19 口探井的预测成功率可达 70% 以上。图

3 是 96657 测线高分辨率地震剖面 and T_{ps} 振幅曲线,在 CDP 1180~1350 段 T_{ps} 反射振幅较弱。因此,将 w5 井定在 CDP 1308 处,结果在盒 8 段砂岩中获天然气无阻流量 $6.7 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$,在山 1 段砂岩中获天然气无阻流量 $2.25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

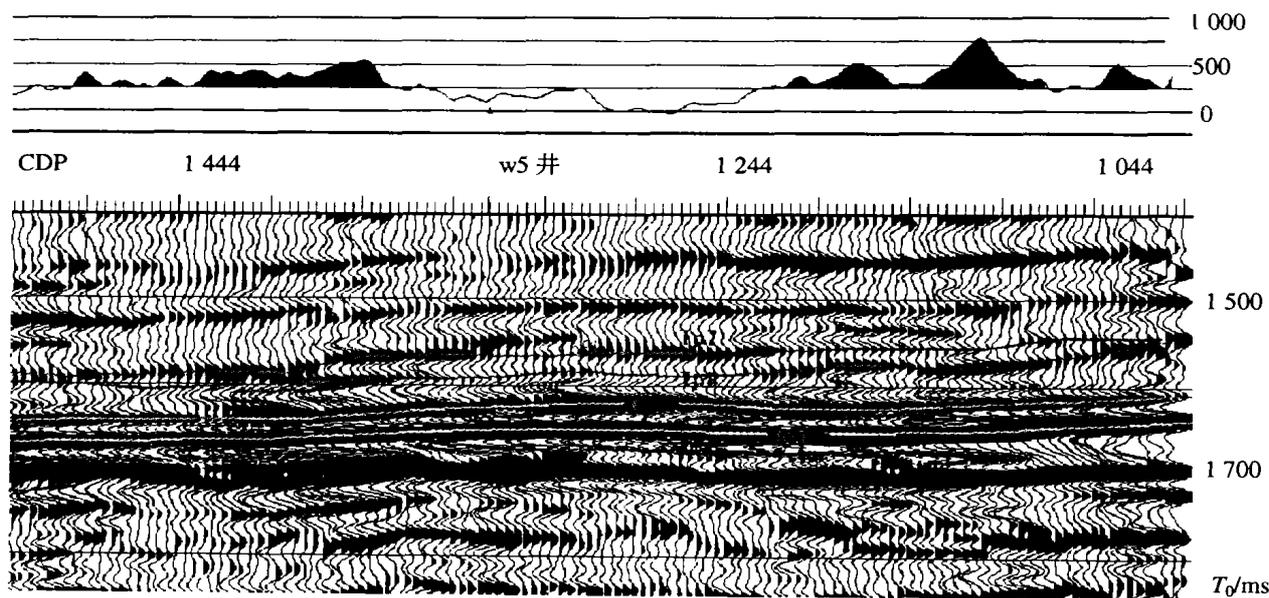


图 3 96657 测线高分辨率地震剖面 and T_{ps} 振幅曲线

Fig. 3 The high resolution seismic section of 96657 line and its amplitude curve of T_{ps} reflection

4.3 人工神经网络技术

地震反射波是地层岩性、物性及含油气性的综合反映,而地层含气后会引起地震波的一系列异常响应,包括振幅、频率、相位、极性等。因此,可用人工神经网络法建立地震参数与含油气性的非线性关系,以判识储层的含油气性。判识储层含气性的思路是:从地震资料中提取多种与储层含气性有关的特征参数,组成多维特征矢量,并设计一个非线性网络(我们采用 3 层 BP 网络),以井旁地震参数为输入,学习样本为已知井天然气无阻流量,对网络进行训练,使其将各类井的地震特征信息分离,然后通过训练好的网络对全区地震资料进行含气性预测。

5 储层横向预测的主要地质成果

5.1 盒 8 砂体展布

1997—2000 年,利用储层波形特征分析法和 Strata 地震岩性反演等横向预测 6 项技术,特殊处理解释 3 801.25 km/111 条,做出了乌审旗区上古生界二叠系盒 8 下砂岩厚度图(图略),预测该区存在 4 条北北东向砂体带(w1 井西砂带、w1 井砂带、w9 井砂带和 w5 井砂带),砂带宽 4~10 km,厚 10~20 m,最大厚度达 30 m。

5.2 山 1 砂体展布

用地震波形分类和 Strata 地震岩性反演预测了

乌审旗区的山 1 砂岩展布,揭示乌审旗区存在一较大的北北东向山 1 砂岩带,砂带宽 5~11 km,厚度最大可达 25 m,主砂带由北向南沿 s199 井—s235 井—s176 井—s239 井—s178 井一线展布。

5.3 盒 8—山 1 储层含气性预测

通过选用质量较好的 42 条测线,共 1 325.27 km 地震资料,进行人工神经网络油气判识,结果在该区 4 条砂带中以 w1 井、s191 井和 w5 井砂带含气性较好,w1 井西砂带含气性较差。

6 储层地震横向预测钻探效果分析

1996—2001 年,在乌审旗区部署的第一口井——w1 井预测砂体厚度 30 m,实钻 29 m(见图 4),获高产天然气流,揭示了该区良好的勘探前景。依据地震横向预测成果,共提供探井井位 19 口。其中:13 口井获得工业气流,钻探成功率达 68.4%;钻前预测砂层 25 层,预测砂岩厚度误差小于 5 m 的 21 层,预测符合率达 84%;预测盒 8 段 19 口井的物性和含气性,与实钻结果相符的 15 口井,预测符合率达 79%。该技术在乌审旗区低波阻抗含气砂岩储层预测中是实用有效的,取得了良好的勘探效果。

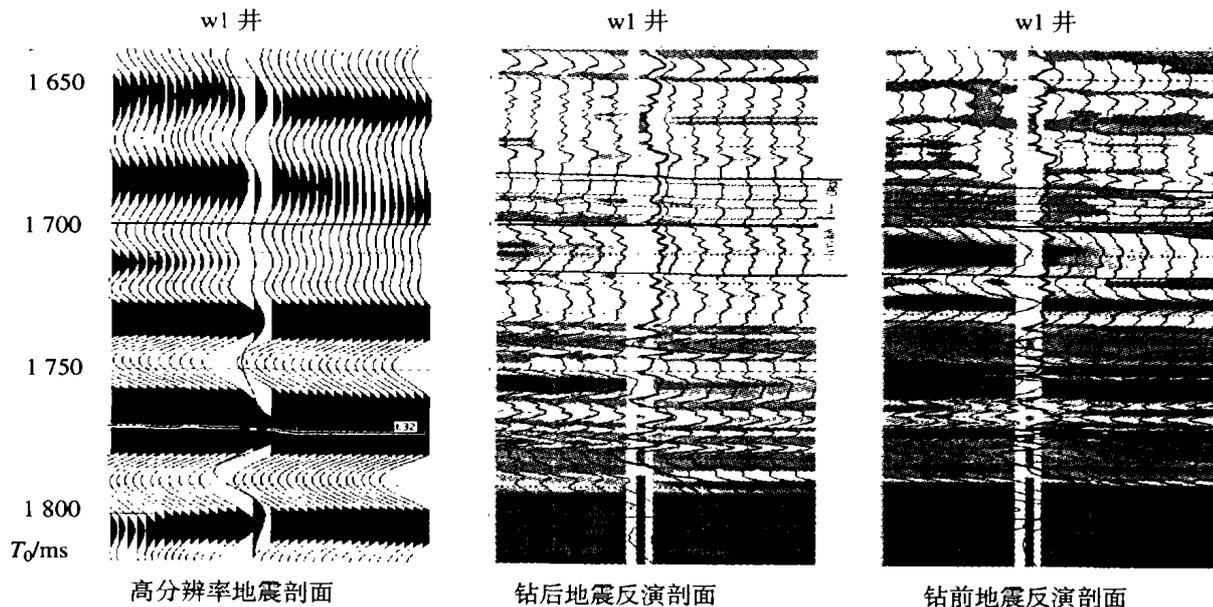


图 4 w1 井地震预测钻探效果分析图

Fig. 4 The seismic prediction efficiency analysed before and after the drilling of the w1 well

7 结束语

总结发展了一套较完善的预测技术,对上古生界二叠系盒 8 砂体物性及含气性提出了一些预测方法,通过对 19 口井砂体的预测,成功率达 84%。

基本查明了乌审旗区 4 条北北东向盒 8 砂带的

展布,在 w1 井砂带、s191 井砂带和 w5 井砂带均获得重要发现。

参考文献:

- [1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京:石油工业出版社,1990.

(编辑 张银玲)

The seismic prediction technique of the Permian Upper Paleozoic sand and its gas-bearing and the efficiency in Wushenqi Area, Ordos Basin

XIA Zheng-yuan¹, WANG Bao-jiang^{1,2}

(1. Exploration and Development Institute, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: The Wushenqi Area of Ordos Basin is one of the important gas exploration field in recent years in this area. The reservoir in the Permian, Upper Paleozoic is lithic-quartzose sandstone. It is very difficult to predict the reservoir bed due chiefly to little impedance difference between gas-bearing sandstone and mudstone and thin gas horizon. Thus a series of seismic prediction techniques about reservoir bed has been developed, such as high resolution seismic exploration technique, seismic wave shape classification technique, seismic impedance inversion technique, and seismic gas-bearing prediction of reservoir bed as well. All that are effective. By practicing in 19 wells, the ratio between prediction and fact in sandstone prediction is 84% and is 79% in petrophysical properties and gas-bearing prediction. Using these techniques, we have found the Wushenqi Gasfield with hundred billion square reserves.

Key words: Upper Paleozoic; seismic prediction; impedance; reservoir bed; inversion; Ordos Basin

· 学术动态 ·

我校科学研究推动了学科建设的步伐

在科学研究的支撑和推动下,我校学科建设步伐大大加快,建设成效十分显著。以我校“211 工程”重点建设的 7 个学科为例,5 年来这些学科共争取到科研经费 9 913 万元,占全校科研经费到款额的 89.2%,其中地质学、化学和生物学三大学科共争取到科研经费 6 974 万元,占全校科研经费的 70.4%。正是由于突出的科研业绩,才使得我校新增的 3 个国家重点学科诞生于地质学和生物学学科之中,化学学科也才顺利拿到了一级学科博士点。同样,正是由于我校承担了一批中药学研究领域的国家级重点项目,并取得了一系列重要研究成果,中药学学科才能在创办短短几年内就拿到国家一级学科博士点。近年来,学校还通过积极扶持人文地理学、数学等传统优势学科,使这些学科完成了一大批有重要影响的研究成果,为考古学、人文地理学、基础数学等博士点的获准奠定了良好的基础。

(薛 鲍)