

# 惠民凹陷沙三段岩性油藏勘探中地震技术的应用

马玉歌<sup>1,2</sup>, 崔世凌<sup>1</sup>, 孙淑燕<sup>1</sup>

(1. 胜利油田分公司物探研究院, 山东 东营 257100;

2. 中国石油大学, 北京 102249)

**摘要:** 针对惠民凹陷岩性油藏勘探存在的难题, 开展了岩性油藏勘探技术研究。以地震、地质资料为基础, 采用井震联合及小波变换技术, 完善了层序地层等时格架建立方法, 确定了各三角洲的时空展布规律。应用多元综合标定、地震相划分、正演模拟和测井约束反演一系列技术, 实现了不同沉积类型有利砂体的描述。形成了适合惠民凹陷沙三段岩性油藏勘探的技术系列, 可以指导惠民凹陷沙三段岩性油藏的勘探。

**关键词:** 惠民凹陷; 岩性油藏; 小波变换; 层序地层; 地震相划分

中图分类号: P315.01 文献标识码: A

## 0 引言

惠民凹陷位于济阳拗陷西部, 一直以来勘探主要以构造为主<sup>[1~4]</sup>, 断块构造的描述及成藏进行了研究<sup>[5,6]</sup>。自2001年以来, 油气勘探已进入隐蔽性油藏勘探阶段。沙三段是岩性油藏勘探的主要目的层系, 多物源三角洲不同相带的砂体形成了多种类型的岩性油藏<sup>[7]</sup>, 具有良好的勘探前景。由于岩性油藏成藏受三角洲沉积相带及构造双重因素控制, 成藏控制因素复杂多变, 勘探难度大, 勘探期间不乏失利井。因此, 需要在层序地层格架建立的基础上, 研究惠民凹陷沙三段的沉积特征、储层展布规律及成藏规律, 宏观上对储层的沉积相带进行划分, 应用岩性油藏勘探地震技术, 选择有利地区进行精细的储层描述, 确定有利勘探目标, 指导勘探。

## 1 沉积体的平面展布规律

沙三下沉积时期, 惠民凹陷的主要生油洼陷—临南洼陷以盆地深陷、水域扩展为特点, 沉积物补给不充分, 表现为非补偿性沉积。期间主要发育北部物源的盘河三角洲以及南部物源的双丰、江家店—瓦屋三角洲。该时期沿夏口断裂带发育水进式扇三角洲, 三角洲水体向上变深, 垂向和侧向均相变为湖相泥岩, 洼陷中心的泥岩、油页岩既为全区的油源岩, 同时又是该时期很好的盖层, 加上断层的侧向封堵, 形成良好的构造岩性圈闭。

沙三中沉积时期是惠民凹陷断陷高峰期, 此时水域最广, 水体最深, 中央隆起带进一步上升隆起, 夏口断层控制沉积的特点明显。盘河三角洲、江家店—瓦屋扇三角洲沉积范围缩小, 双丰三角洲发育。夏口断裂带周边的三角洲体系, 扇三角洲体系继承了沙三下时期的特点, 继续向洼陷推进, 含砂率总体较高。在洼陷带内主要以深湖相泥岩和油页岩沉积为主, 而在夏口断层下降盘由于快速堆积, 在低洼地带发育了滑塌浊积岩。

沙三上沉积时期是惠民凹陷震荡性水退和主要充填时期, 各沉积体继续向洼陷中心推进, 随着水动力条件的变弱, 各沉积体系在向洼陷推进的过程中, 在坡折带产生重力滑塌, 形成滑塌浊积岩。惠民凹陷是一个北断南超的箕状断陷盆地, 自凸起到洼陷边缘发育了凸起边缘断裂坡折带和洼陷边缘断裂坡折带, 夏口断裂带到临南洼陷带之间, 自西向东形成了洼陷边缘断裂坡折带, 是惠民凹陷滑塌浊积岩的有利分布区。

## 2 地震技术

### 2.1 小波变换技术

所谓小波变换就是把某一称为小波函数  $\Psi(t)$  的自变量  $t$  进行位移( $b$ )和伸缩( $a$ )处理后与待变换的函数  $f(t)$  作内积而得到具有双参数  $a$  和  $b$  的函数  $W_f(a, b)$ :

\* 收稿日期: 2008-02-04

作者简介: 马玉歌(1975—), 女(汉族), 陕西省华阴市人, 胜利油田分公司物探研究院工程师, 主要从事物探综合解释工作。

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \overline{\psi((t-b)/a)} dt, a > 0$$

通常  $\psi(t)$  具有有限的支撑集, 即  $\psi(t)$  在  $t$  的一个有限集合, 例如在  $[0, T]$  之外全部等于 0, 记为  $Supp \psi(t) = T$ 。此时, 上述积分只包含  $b$  的视窗  $[b, aT+b]$  内部不等于 0。而视窗的位置随  $b$  移动, 其大小随  $a$  伸缩。另外, 上述积分可以化成褶积, 因此小波变换是将视窗中的  $f(t)$  进行滤波处理, 此滤波是一种带通滤波。 $a$  越大频带越窄, 视窗越大越模糊; 反之,  $a$  越小频带越宽, 视窗越小, 分辨率越高。这与人们观察事物的规律刚好一致, 站的越远视野越开阔, 看的越模糊, 反之看的较清晰。

由上可知, 小波变换可将测井数据从一维深度域转换为二维深度—尺度域, 使信号能同时在深度位置  $x$  和尺度空间  $s$  上进行描述。小波变换系数值是位移因子与尺度因子的函数, 小波系数的数值大小揭示了小波函数与测井信号的相似程度, 可理解为主要分析的测井信号与小波的协方差。测井信号经过小波变换处理后, 其中的频率结构暴露无遗, 并可显示出各个频率段之间的突变点或突变区域, 反映在地质问题上就是其形成环境的突变。由多个不同周期(尺度)沉积旋回叠加的测井曲线, 通过小波变换, 被分解为各自周期独立的沉积旋回, 以不同尺度的形式展示出来。测井曲线经过一维连续小波变换后, 可以得到一系列与尺度和深度相对应的小波变换系数值。它的地质学意义在于: 测井数据经过小波变换后, 通过考察多种伸缩尺度下小波系数曲线所表现出的明显的周期性振荡特征, 可与各级层序界面建立一定的对应关系, 作为高分辨率层序地层单元划分的依据。

## 2.2 综合标定技术

多元综合标定<sup>[8]</sup>以钻井的地质分层和区域标志层作为约束条件, 利用精细的合成记录和 VS-PLOG 剖面与井旁地震道进行反射波组、能量等反射信息的相关对比进行标定, 在此基础上, 根据研究

区的岩石类型组合特点, 采用声波曲线为主、自然电位曲线和自然伽玛曲线等为辅综合进行标定。不仅提高了标定的准确程度, 并且赋予地震剖面丰富的地质含义。单井多元综合标定可以确定局部砂岩体顶和底、同时可精确确定单砂组; 连井多元综合标定可以确定砂岩体在区域上的整体展布, 并可进行单砂组的小层对比。

## 2.3 正演模拟技术

惠民凹陷钻探岩性油藏的井较少, 通过建立不同类型的砂体正演模型, 得到其地震响应, 以此识别砂体。以田家地区基山砂体为例。

田家地区沙三上亚段下部发育了基山砂体的三个砂层组<sup>[9]</sup>, 在地震上表现为 3 个能量较强、可连续追踪的同相轴, 自东向西上倾尖灭, 其中, S541 井钻遇砂体厚度为 100m, T3 井钻遇砂体厚度为 25~30m, 在地震剖面上, T3 井对应强反射, 而 S541 井对应弱反射, 该反射是否对应砂体的反射? 砂体尖灭点位置如何确定? 另外, 在沙三上亚段上部, 发育了一系列呈叠瓦状展布、能量较强的地震反射同相轴, 是否对应砂体的反射呢? 为此建立了该模型。提取过 T3、S541 井基山砂体发育段的井旁道地震子波, 分析基山主频在 25~30Hz 之间。制作过这两口井的合成地震记录, 分析基山砂体发育段速度为 2800~3500m/s。应用 T3、S541 井的测井曲线制作曲线模型, 根据钻井设计了基山砂体的地质模型。

得到的地震响应特征(图 1), 砂体上倾尖灭点清楚, 砂体呈叠瓦状展布特征明显, 与地震剖面具有很好的可对比性(图 2), 由于 S541 井区砂体发育, 泥岩隔层厚度薄, 因此地震反射特征相对较弱; 而 T3 井, 基山砂体厚度变薄, 泥岩厚度增大, 砂泥界面明显, 因此, 砂体反射较强, 通过提取主振幅值也具有上述规律, 该规律与地震剖面相符合。通过模型, 验证了该区的砂体反射特征, 精确划分了砂体尖灭点的位置, 证实该区呈叠瓦状展布的短轴强反射对应砂体的反射, 从而指导该区砂体描述。

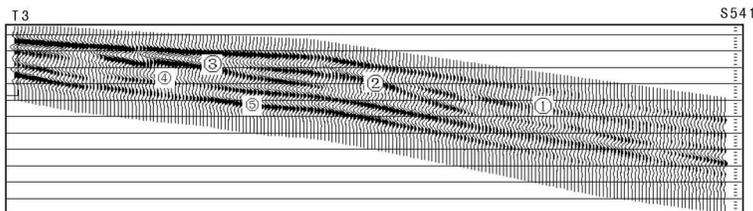


图 1 地震响应特征图

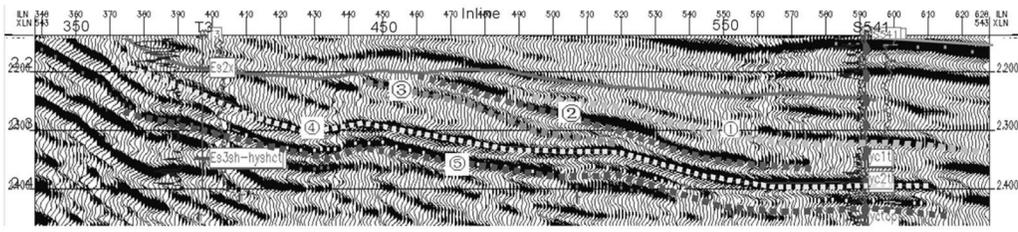


图2 T3-S541地震剖面图

### 2.4 地震相划分技术

地震相划分主要是利用波形分类的方法,选取目的层段能反映不同亚相带变化的有效时窗段,对地震波形进行分类,使地震信号形状分类形成离散的“地震相”,将所得的地震相投影到地震剖面上,与实际的地震道进行对比,确定不同相带对应得波形特征,进而划分各亚相带在平面上的分布。

以临南洼陷西部沙三上亚段地震相划分为例。针对沙三上亚段选取合理时窗,在时窗范围内将地震波形可分为9类,与实际的地震道进行对比,发现三角洲平原亚相主要对应8、9类地震波形,前缘亚相主要对应4~6类地震波形,以不同的颜色代表不同的地震波形,得出地震异常体在平面的颜色的变化规律(图3)。颜色的集中段基本反映了亚相带展布特征,并用钻井、测井曲线进行约束,进行综合性的地质解释。从地震异常体上看,在X70-J3半环状条带以南,在蓝色背景下分布较少的暗红、黄色、绿色相互穿插、杂乱无章,反映了双丰三角洲平原亚相带河道多期叠置、频频摆动迁移的特点;而在营子街坡折带、L83-LX111一线东翼绿色分布轮廓明显,且深浅呈有规律性变化,表明三角洲前缘亚相带砂体分布多期性,物源注入方向稳定。

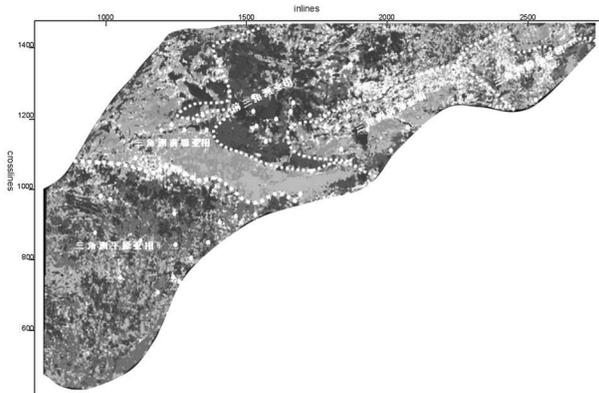


图3 临南洼陷西部沙三上亚段沉积相图

### 2.5 测井约束反演技术

惠民凹陷沙三段砂体的埋深一般在3000m上

下,纵向上以薄互层的形式出现,横向上叠合连片,具有埋藏深、储层相对较薄等特点。在常规地震资料的砂体追踪工作中,由于受地震资料的限制,在标定和追踪时,只能以砂层组为单位,而不能追踪单砂体;由于所追踪的同相轴为砂层组的反射,所以,砂层组的某一个砂层的消失或出相,都可能引起同相轴的扭曲和能量变化,这样,所确定的砂体边界就会有误差甚至错误。

针对这些问题,引入了测井约束反演技术(图4),通过测井资料与地震资料相结合,将测井的高频信息与地震的中频信息相结合,提高频带宽度,从而提高储层在纵、横向的分辨率,从而进行储层的精细描述。

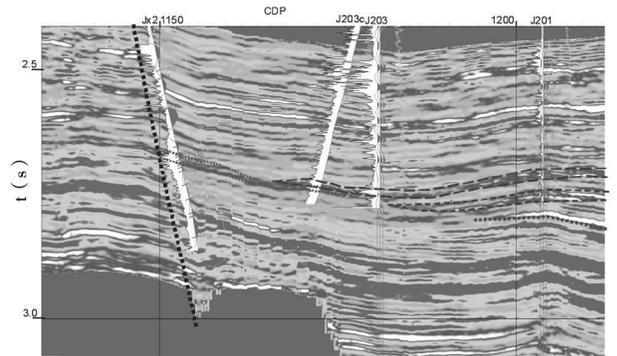


图4 Jx2-J201测井约束反演剖面图

## 3 应用效果

惠民凹陷沙三段沉积时期主要的沉积类型:三角洲、滑塌浊积岩沉积相。针对不同的类型,采用不同的研究思路和技术,取得了显著的效果。

### 3.1 田口-兴隆寺地区断层切河道砂油藏

田口-兴隆寺沙三上亚段水下分流河道砂体,长度7km。平面上由于河道的分流性及水流频繁侧向迁移,分布很不稳定,但总的延伸方向为南北向,河道宽度200~500m,断层的延伸方向与河道近乎垂直,易于形成断层切河道砂油藏。

河道砂体在倾向剖面上,表现为连续性较好的

强振幅反射;在走向剖面,地震上表现为短轴强振幅反射特征。其岩性主要是粉砂岩、粗砂岩和含砾砂岩,分选差,磨圆度不好,砾石直径约 1mm,电性上可以看出具有微弱的正序。

从沙三上段的储层预测图上可看出,有两条明显的物源通道,这两条物源通道代表的不是两个水道砂体的反映,而是漫长的地质历史时期内多个水道砂体迭合而成的复合体。因此要钻探辫状水道砂体必须进行单砂体的描述。

通过地震相标志、测井地质法、建立正演模型等对砂体进行识别,确认田口—兴隆寺地区沙三上沉积时期发育的砂体是扇三角洲平原相辫状水道亚相成因。在识别、标定砂体之后,要追踪解释来确定砂体的平面形态、分布范围。砂体边界的确定是砂体解释中的一个关键环节。经过研究,砂体在地震剖面上的真正尖灭点是地震同相轴衰减到肉眼不能分辨处向外延伸 2~3 道。

通过对 X53 井进行综合标定,发现沙三上亚段河道砂体对应地震剖面上的 3~4 个较强反射轴,对研究区包含该套地层的层段开时窗,提取振幅类、频率类的参数,预测研究区有利储层的分布范围。

在以上基础上对田口—兴隆寺地区沙三上河道砂体进行描述,共描述砂体 9 个,展开面积 28km<sup>2</sup>,建议优先部署钻探井位 3~4 口。

### 3.2 双丰三角洲前缘构造+岩性油藏

沙三中沉积时期,临南洼陷水域扩大,水体加深,夏口断裂带的古地形为西高东低,在夏口断裂带的西段发育了双丰三角洲,其前缘相砂体自上而下可划分为六个砂层组。通过对 X33 井进行精细标定,双丰三角洲前缘相砂体六个砂层组,分别对应地震上四个中—强反射同相轴,应用层拉平技术,预测出了各砂层组向东、北方向的发育情况,发现自 I 砂层组至 V 砂层组,依次向东北方向推进,在双丰鼻状构造与江家店鼻状构造之间发育了四个岩性尖灭带。利用地震资料,结合反演资料,对四个砂层组进行描述,并完成了四个砂层组顶面构造图。四个砂层组向东上倾尖灭,内部被近东西向断层切割,可形成构造—岩性油藏。在该区还可部署井位 5 口,其中 X331 东部,有利圈闭面积 12.6km<sup>2</sup>,预测石油地质储量 720×10<sup>4</sup>t。

### 3.3 营子街滑塌浊积岩油藏

临南洼陷滑塌浊积岩在沙三段时期比较发育<sup>[10]</sup>,营子街地区位于临南洼陷边缘断裂坡折带上,沙三段沉积时期,物源来自南部的双丰扇三角洲

和物源来自北部的盘河三角洲在此交汇。双丰三角洲在向洼陷推进的过程中发生重力滑塌,在该区形成了一系列的滑塌浊积岩。通过已钻井之间的储层对比,证实确实为三角洲前缘滑塌浊积岩。这些砂体处于生油洼陷中,与构造相匹配,可形成构造—岩性油气藏。

通过进行地质地震模型分析,本区浊积砂体主要以砂、泥薄互层的形式存在于沙三上亚段中,砂岩单层厚度一般为 5~13m,砂组间泥岩厚度一般大于 10m。通过对合成记录进行分频处理,要识别本区单层砂体,地震主频应达到 60Hz 左右,而目前目的层的地震主频为 30~35Hz,远不能分辨单砂体。若按  $\lambda/4$  作为分辨顶底反射的极限,那么能够分辨本区 25~30m 的砂体;以  $\lambda/8$  作为能量分辨的极限,能够分辨本区 13~15m 的砂体。说明本区地震反射所反映的是“砂包”,也即砂层组。

据多口井的声波测井资料统计,沙三段泥岩速度为 2800~3100m/s,砂岩速度为 3200~3500m/s,砂泥岩之间可形成明显的波阻抗界面。浊积砂体表现为不稳定的沉积,相带变化快,其变化又引起速度等的变化,地震相表现为变振幅、短同相轴,有时呈现迭合短轴,一般为弱—中振幅。

通过对已钻井的钻井相分析,双丰砂体纵向上略显反序,砂层组成层性好,在地震相上表现为 4~5 个中强反射轴。通过沿三角洲推进方向地震剖面分析,发现在三角洲推进过程中,自三角洲前缘相到前三角洲泥岩相,同相轴的个数减少,因此,选取频率类参数作为有效参数,在砂体发育段内选取时窗,进行储层预测,从而确定三角洲前缘的位置,那么三角洲前缘相向前推进的前三角洲相是滑塌浊积岩的发育区。

通过营子街地区综合评价,该地区近几年取得了良好的勘探效果,目前已上报控制含油面积 12.69km<sup>2</sup>,控制储量 833×10<sup>4</sup>t。

## 4 结论

惠民凹陷沙三段岩性油藏勘探技术是地质研究和地球物理研究相结合的产物。地质研究通过地层和沉积研究,应用高分辨率层序地层学建立适合惠民凹陷地质特点的地层格架以及沉积体平面展布规律,总结不同区块不同相带的成藏模式,指导应用地球物理技术进行储层描述的区域。岩性油藏描述分为宏观描述和精细描述两个阶段:在宏观描述阶段,主要在地质研究的基础上应用地球物理方法预测三

角洲沉积相带,在有利相带寻找不同类型的油藏;精细描述阶段,主要是运用地球物理手段追踪描述单砂体,并在描述的基础上提取地球物理属性参数,结合地质分析结果,找到地球物理属性参数与储层特

征相对应的关系,定量或定性地对储层特征进行描述。描述方法的配套使用减少了地球物理解释的多解性,从而使勘探成功率大幅度提高。

### 参考文献:

- [1] 郑德顺,等.惠民凹陷中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用[J].石油大学学报(自然科学版),2004,28(5):6-11.
- [2] 王纪详,等.山东惠民凹陷伸展构造及调节带特征[J].现代地质,2003,17(2):203-208.
- [3] 赵密福,等.惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J].石油勘探与开发,2000,27(6):9-10.
- [4] 郭兴伟,等.济阳坳陷新生代构造沉降特征[J].中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(3):6-9.
- [5] 崔世凌,等.惠民凹陷复杂断块精细描述技术及应用[J].石油物探,2002,41(3):351-353.
- [6] 李春芹,等.惠民凹陷中央隆起带西端复式油气成藏特征[J].新疆石油学院学报,2003,15(2):9-12.
- [7] 李丕龙.富油断陷盆地油气环状分布与惠民凹陷勘探方向[J].石油实验地质,2001,23(2):147.
- [8] 崔世凌,等.临南洼陷砂岩岩性油气藏描述方法及效果分析[J].石油物探,2002,41(2):186-187.
- [9] 魏瑞香,等.基山砂体沉积成因探讨[J].华北地震科学,2004,22(4):40.
- [10] 赵密福,等.惠民凹陷临南洼陷滑塌浊积岩分布规律及其控制因素[J].油气地质与采收率,2001,8(5):14-17.

## Application of seismic technology in oil prospecting in Huimin Depression

MA Yu-ge<sup>1,2</sup>, CUI Shi-ling<sup>1</sup>, SUN Shu-yan<sup>1</sup>

(1. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield Branch Company, Dongying 257100, China;

2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** Based on the problem of oil prospecting in Huimin Depression, the prospecting technology for lithological oil reservoir is studied. Combined logging and seismic as well as wavelet transform technology, the method to establish isochronic framework of stratigraphic sequence is presented, and the space-time distribution in each delta is determined. Using multivariate composite calibration, classification of seismic facies, forward modeling and logging constrained inversion technique, we realized the description of beneficial sand body in dissimilarity sedimentation type, and formed a technical series that fit for the prospecting in Huimin area.

**Key words:** Huimin depression; lithologic reservoir; wavelet transform; stratigraphic sequence; sedimentary subfacies; classification of seismic facies