

· 综合研究 ·

断陷湖盆陡坡带砂砾岩体构造恢复与内幕旋回划分

——车镇凹陷北部陡坡带中浅层近岸扇体实例

宋亮*^① 张营革^① 苏朝光^① 王楠^① 张秀娟^①

(①中国石化胜利油田有限公司物探研究院,山东东营 257000)

宋亮,张营革,苏朝光,王楠,张秀娟. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩体构造恢复与内幕旋回划分车镇凹陷北部陡坡带中浅层近岸扇体实例. 石油地球物理勘探,2010,45(增刊1):117~120

摘要 车镇凹陷北部陡坡带中浅层近岸扇体埋藏浅,储集性能好,勘探的关键问题是准确落实构造形态和识别有利盖层发育位置。本文通过对中浅层近岸扇体进行正演模拟,剖析了速度陷阱产生的原因,理清了地震反射与实际地层之间的定量对应关系;结合构造变速成图技术,完成了砂砾岩体构造的恢复;采用井震时频分析精细划分扇体内幕旋回,进一步明确了有利盖层的层序特征。应用此方法的结果表明:变速成图后构造圈闭更加落实,井震时频分析技术可有效指导砂砾岩体内幕旋回的划分,确定有利盖层发育位置。

关键词 构造解释 近岸扇体 时频分析 变速成图 正演模型 砂砾岩储层

1 引言

车镇凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷北部,北、西、南三面被埕宁隆起和义和庄凸起环绕,东端与沾化凹陷相邻。车镇凹陷具有明显的陆相断陷盆地的沉积特点,构造整体呈北断南超,是典型的古近纪复合扭张断陷凹陷^[1]。车镇凹陷的北部陡坡带位于埕南断层的下降盘,从东营组至沙河街组发育了大量的近岸扇体。其中,中浅层近岸扇体由于埋藏浅,扇体储集性能较好,油气疏导有利,扇根、扇中都可成藏。通过对多口探井的分析,认为下一步该区中浅层近岸扇体勘探的关键问题是准确落实构造形态和识别有利盖层发育位置。

针对这两个问题,本文通过正演模拟,结合构造变速成图技术,进行了近岸扇体的构造恢复;综合利用地震时频分析和测井曲线小波变换分析,精细划分了扇体的内幕旋回,明确了有利盖层层序特征。

2 变速成图恢复砂砾岩体构造

2.1 模型正演分析速度陷阱

在车镇凹陷北部陡坡带东营组至沙河街组叠置

发育了多期的近岸扇体沉积,这些扇体的岩性致密、粒度较粗,普遍具有较高的层速度。由于每期扇体受到上部高速砂砾岩的影响,在地震剖面上会产生扇体顶面被“上拉”的反射假象,形成速度陷阱。以往采用统一的东营速度编制车镇凹陷北部陡坡带的深度构造图忽视了砂砾岩体速度的空间变化,造成构造图精度低、圈闭构造不落实等问题。为准确落实扇体构造形态,依据地震反射与实际地层之间的定量对应关系,对车镇凹陷北部陡坡带中浅层近岸扇体进行了正演模拟。

针对东营组和沙一段中不同的地层结构和速度特征,建立了各自的扇体正演模型(图1):对于东营组,设计上覆地层中泥岩的平均速度为1800m/s,扇体的平均速度为2800m/s,随着埋深增大,至东营组中泥岩、扇体的平均速度分别增大为2000,3000m/s;对于沙一段,设计上覆地层中砂泥岩的平均速度与东营组模型相同,至沙一段中泥岩和扇体的平均速度分别为2500和3500m/s。此外,为得到扇体顶面是滚动背斜时的临界反射角,在正演模型的设计中将扇体的顶面理想化为水平地层。

通过上述两个正演模型的模拟结果,认识到近岸扇体在地震剖面上普遍存在“上拉”的反射假象,

* 山东省东营市胜利油田物探研究院,257000

本文于2010年6月1日收到,修改稿于同年10月12日收到。

且不同扇体上拉幅度不同:从浅至深,随着深度和上覆砾岩体厚度的增大,地震剖面上扇体反射轴上拉幅度增大,预测的深度误差变大。其中:东营组地层

上覆砂砾岩体为 150m 时,地震反射轴被上拉 40ms;沙一段地层上覆砂砾岩体为 360m 时,地震反射轴被上拉 70ms。

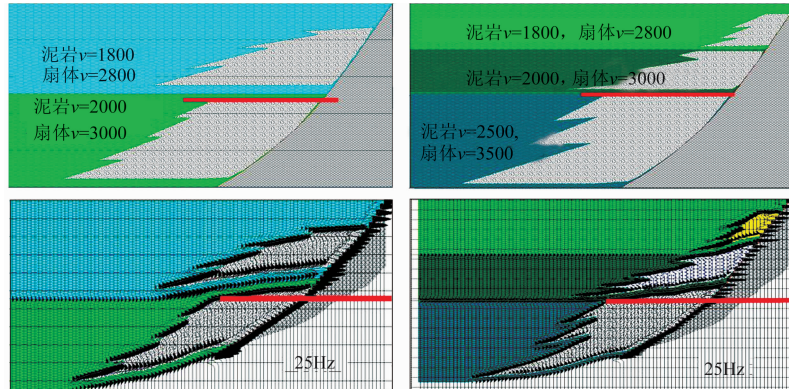


图1 东营组(左)和沙一段(右)的扇体速度模型(上)和正演结果(下)(速度单位为 m/s)

为探究地震反射与实际地层的定量关系,采用地震反射轴与水平线的夹角(θ)定量表示地震反射轴的上拉幅度(A):当夹角变大,则反射轴上拉幅度增大;反之,上拉幅度减小。通过统计得到东营组和沙一段不同扇体圈闭的幅度、地震反射轴与水平线的夹角的散点图(图2),圈闭幅度与地震反射夹角间存在如下定量关系

$$\text{东营组 } A = -0.0021\theta^3 - 0.065\theta^2 - 1.3472\theta + 11.77 \quad (1)$$

$$\text{沙一段 } A = 0.0014\theta^3 - 0.0339\theta^2 - 2.1247\theta + 33.958 \quad (2)$$

其中: A 为扇体的圈闭幅度; θ 为地震反射轴与水平线的夹角。

当上式中 $A=0$,即扇体圈闭幅度为 0 时,所得夹角即为扇体形成滚动背斜的临界角。从浅至深,随着深度和上覆砾岩体厚度的增大,扇体在剖面上的临界背斜角呈增大趋势:在东营组,扇体顶面地震反射小于 7° 时,即存在背斜形态;在沙一段地层中,临界背斜角可增大至 15° 。

上述模型和定量关系式的建立,为在地震剖面上定性识别砂砾岩体的构造形态,判断滚动背斜的存在提供了理论依据。

2.2 变速成图恢复构造形态

如今,对变速成图的研究主要集中在速度场建模和叠前偏移成像领域^[2,3]。在速度场建模领域,变速成图的基本思路是利用叠加速度反演建立空间速度场,通过空间的变速偏移来消除速度变化引起的剖面畸变,以反映地下构造形态。变速成图

主要包含三项内容:首先对地震剖面进行精细解释,得到目的层的反射等 T_0 时间;然后利用叠加速度谱、地震测井和声波测井速度,建立空间速度场;最后采用变速时深转换,得到深度构造图^[4,5]。

车镇凹陷北部陡坡带中浅层的构造变速成图面积为 2340km^2 ,共收集 14 口井的 VSP 资料和 182 口井的合成记录资料。通过对车 20、车西连片、车古 3、大王一邵家、大王北和郭局子等六个工区的速度谱进行拼接,建立了车镇北部陡坡带速度场。在此基础上,最终完成对 T_1 、 T_2 反射层的构造变速成图,得到中浅层东营组、沙一段近岸扇体顶面的较为准确的构造形态,并重新落实了圈闭的分布范围。变速成图后,中浅层的圈闭面积普遍增大。其中,北部陡坡带按统一的东营速度成图,沙一段的有利圈

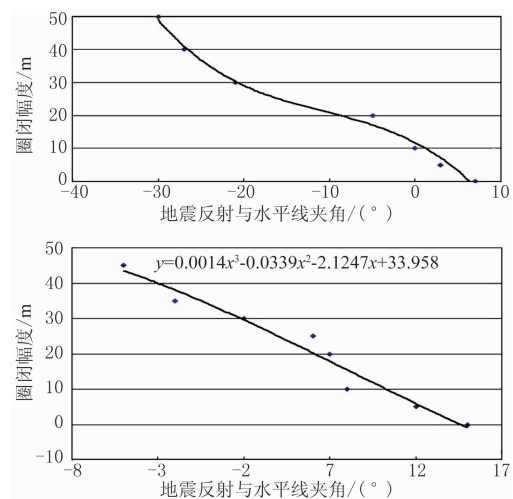


图2 东营组(上)和沙一段(下)扇体圈闭幅度与反射轴至水平线夹角的关系

闭面积为 25.6km²,而按变速成图后沙一段新增有利圈闭面积 11.5km²;东营组新增有利圈闭面积达 25km²;同时,发现了多个新构造圈闭,原解释多个鼻状构造圈闭现解释为背斜圈闭。

3 井震时频分析划分砂砾岩体内幕旋回

3.1 井震时频分析基本原理

井震时频分析技术是地震时频分析和测井曲线小波变换两种技术的有机结合,通过两种技术的取长补短,尽可能减少人为因素影响,从而达到精细划分砂砾岩体内幕旋回的目的。

地震时频分析技术即为频率时间扫描,是如今利用地震信息进行沉积旋回或层序分析最有效方法之一。它将时间域地震记录转换为频率域,获得地震波频率变化信息:低频信息对应颗粒较粗的岩石成分或层理厚度较大的地层,高频信息对应颗粒较细的岩石成分或层理厚度较薄的地层^[6~8]。地震时频分析可用于无井的地震数据区域进行预测。但由于受地震分辨率的影响,对砂砾岩体等复杂岩性的分辨率较低,仅可用于识别低频旋回,划分三级层序。

与地震时频分析相比,测井曲线小波变换技术具有较高的纵向分辨率,可同时在时域和频域内揭示测井曲线特征。小波变换的基本思想是用一簇函数去表示或者逼近某一信号或函数。这一簇函数称为小波函数系,它通过将一个基本小波函数 $\psi(t)$ 的自变量 t 进行不同尺度的伸缩或平移构成。连续小波变换即是把小波函数系与待变换函数 $f(t)$ 做内

积,得到具有双参数 a (尺度参数)和 b (时间位移参数)的函数 $W_f(a,b)$,即

$$W_f(a,b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

小波函数 $\psi_{a,b}(t)$ 随尺度参数 a 和时间位移参数 b 的变换对应于不同的频段和不同的时间区间。由于 a,b 值的变化,小波变换对不同频率在时域上的取样步长具调节性:在低频时小波变换的时间分辨率较差,而频率分辨率较高;在高频时小波变换的时间分辨率较高,而频率分辨率较低。这正符合低频信号变化缓慢而高频信号变化迅速的特点,这也是利用小波变换进行信号分析的基础^[9,10]。

从地质学角度,测井曲线可看成是多个不同周期沉积旋回的叠加反映,进行连续小波变换后,得到的一系列与尺度和深度相对应的小波变化系数曲线对应于地层中不同沉积厚度的周期旋回。这些周期旋回以尺度的形式展示出来:尺度值大表示该沉积周期长,对应地层旋回厚度大,被称为大尺度旋回;反之被称为小尺度旋回。因此,通过观察各种伸缩尺度下小波系数曲线表现的周期性振荡特征,可与各级层序界面建立某种对应关系,作为层序界面划分的依据^[11,12]。

3.2 井震时频分析划分内幕旋回

以车 65 井东营组为例,首先应用地震时频分析技术,划分出 1 个三级层序。通过与测井曲线和岩性剖面的对比,认为小波变换系数 $a=512$ 的曲线与四级层序对应较好。根据 GR 曲线小波变换图谱,并结合小波系数曲线的振荡特性,在 $a=512$ 曲线上划分出 4 个四级层序(图 3)。与单纯利用地震时频

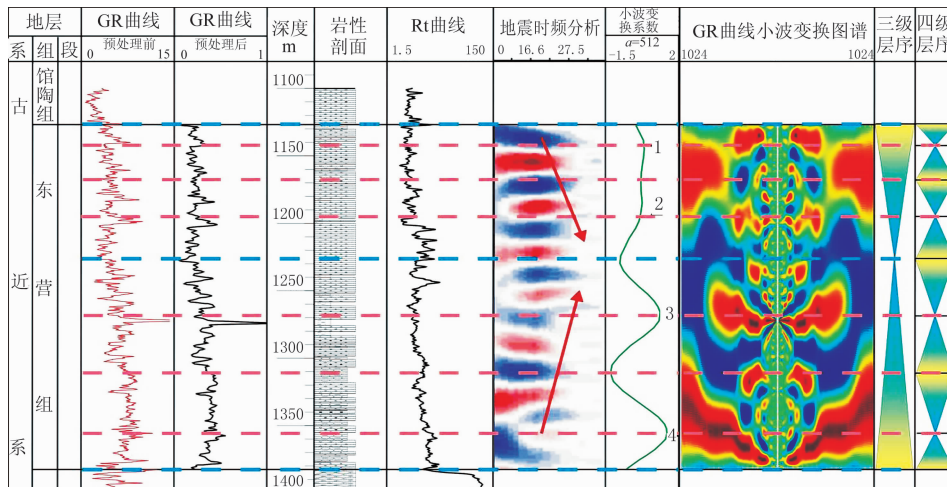


图 3 车 65 井东营组层序分析图

分析、岩性剖面进行层序划分相比,这一结果精细识别出三、四级层序,准确地划分了各级层序界面,较少受人为因素影响。

通过该区多口见油气显示井资料的三、四级层序的划分与对比,发现三、四级层序旋回与泥岩盖层的发育密切相关,且控制着近岸扇体圈闭的有效成藏,即含油圈闭多位于三级层序中正/反旋回的中部和四级层序中正、反旋回的渐变处。结合测井曲线和岩性剖面,认为这种层序叠置特征是在一次水进晚期或一次水退早期形成,沉积时水体相对较深。此时,物源供给量减少,砂砾岩储层岩性较细,物性变好。更重要的是,储层上部多有泥岩盖层发育,纵向封堵性较好,有利于油气聚集成藏。

4 应用效果

图4是进行变速成图处理前、后的车镇凹陷北部陡坡带的 T_2 构造图,对比可见车78井区变速成图后的圈闭面积明显增大,并且由原先的断鼻圈闭变为成藏更为有利的滚动背斜圈闭;同时,利用井震时频分析发现,在车78井的 T_2 层段正好对应于三级层序中正旋回的中上部,其盖层发育,纵向封堵有利。经车78井的钻探证实,在沙三上钻遇油层10.3m,产油 $9\text{m}^3/\text{d}$ 。

应用变速成图和井震时频分析技术,在车镇凹陷北部陡坡带东营组、沙一段近岸扇体落实有利储层面积 40km^2 ,预测圈闭资源量4000万吨。

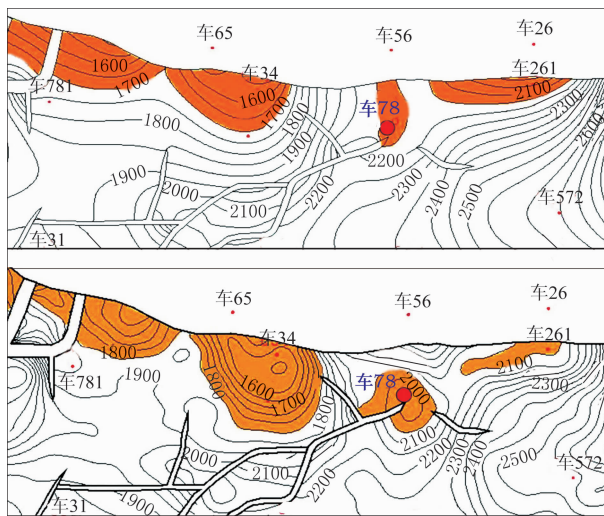


图4 车78井区变速成图前(上)后(下) T_2 构造图对比

5 结论

(1)在近岸扇体资料解释中,速度陷阱普遍存在。通过对车镇凹陷北部陡坡带中浅层近岸扇体进行正演模拟,发现地震反射与实际地层之间存在以下关系:从浅至深,随着深度和上覆砂砾岩体厚度的增大,地震剖面上扇体反射轴上拉幅度增大,预测的深度误差变大,且扇体在地震剖面上的临界背斜角呈增大趋势。

(2)车镇凹陷北部陡坡带中浅层采用构造变速成图技术能够消除由速度变化引起的时剖面畸变,进而准确地预测和描述近岸扇体顶面的构造形态和圈闭分布范围。

(3)井震时频分析技术综合了地震时频分析和测井曲线小波变换的各自优点,能够精细划分近岸扇体的内幕旋回。其中三、四级层序旋回与泥岩盖层的发育密切相关,控制着近岸扇体圈闭的聚集成藏。

参考文献

- [1] 张本琪,张洪山,康仁华等. 车镇凹陷层序地层与石油地质. 北京:石油工业出版社,2004
- [2] Russell B. A simple seismic imaging exercise. *The Leading Edge*,1998,19(7):885~889
- [3] 王树华,刘怀山,张云银等. 变速成图方法及应用研究. 中国海洋大学学报,2004,34(1):139~146
- [4] 郭广成,雷卫兵. 变速成图方法在江陵凹陷构造解释中的应用. 江汉石油职工大学学报,2007,20(6):3~6
- [5] 战春光,王学军,张家震等. 应用变速成图技术解释富台油田砂砾岩体构造. 石油勘探与开发,2003,30(05):75~76
- [6] 王永刚. 地震资料综合解释方法. 山东东营:中国石油大学出版社,2007,157~158
- [7] 石万忠,李举子,李梦溪等. 时-频分析在高分辨率层序地层学中的应用. 石油与天然气地质,2001,22(3):234~237
- [8] 李小梅,俞娟丽. 时频分析技术在层序旋回划分中的应用. 石油与天然气地质,2008,29(6):793~796
- [9] 陈钢花,余杰,张孝珍. 基于小波时频分析的测井层序地层划分方法. 新疆石油地质,2007,28(3):355
- [10] 李江涛,余继峰,李增学. 基于测井数据小波变换的层序划分. 煤田地质与勘探,2004,32(2):48~50
- [11] 余继峰,李增学. 测井数据小波变换及其地质意义. 中国矿业大学学报,2003,32(3):336~339
- [12] 李霞,范宜仁,邓少贵. Morlet小波在测井层序地层划分中的应用. 勘探地球物理进展,2006,29(6):403

(本文编辑:朱汉东)