

· 综合研究 ·

地震资料解释新技术在柴达木岩性勘探中的应用

陈海清*^{①②} 范金源^① 贺保卫^① 陈元忠^①
阎小莉^① 方凯^① 宋德才^① 何丽红^①

(^①东方地球物理公司研究院,河北涿州 072751;^②中国海洋大学海洋地球科学学院,山东青岛 266100)

陈海清,范金源,贺保卫,陈元忠,阎小莉,方凯,宋德才,何丽红. 地震资料解释新技术在柴达木岩性勘探中的应用. 石油地球物理勘探,2008,43(增刊1):78~85

摘要 岩性勘探已成为国内油气勘探的重要领域,针对岩性勘探的技术需求也不断加强。虚拟现实技术在识别和雕刻河道、小型三角洲等地质体方面拥有突出的优势;而地震子波重构技术在分析储层变化和含油气检测方面具有新的视角和方法。本文以柴达木盆地的两个勘探目标为例,阐述了虚拟现实技术和地震子波重构技术在岩性勘探中的应用与效果。

关键词 虚拟现实 地震子波重构 柴达木盆地 岩性勘探

1 概况

岩性油气藏在国内各大油田的勘探中所占比例越来越大。2003年,中国石油天然气股份有限公司探明的石油储量中,岩性油气藏所占比例超过50%。三级储量中,岩性油气藏的比重超过了70%。由此可见岩性油气藏勘探的重要性。

柴达木盆地的岩性油气藏勘探也日益受到重视,以往每年油田针对岩性目标的探井只有2~3口井位,而2007年创纪录的达到了8口,其重视程度可见一斑。

与常规的构造油气藏相比,岩性油气藏具有更强的隐蔽性,成藏规律更复杂,勘探难度更大,对勘探技术要求也更高。为此,勘探家们针对油气勘探的新方向和趋势,结合新的地质理论,广泛吸收相关学科的新成果,不断地探索新的勘探方法和技术,以适应当前勘探形式的需要。近年出现叠前反演技术、地震谱分解技术、地震子波重构技术、虚拟现实技术等为发现更多的岩性油气藏和更加细致地分析储层的空间变化,提供了更加有效的手段。

本文通过两个实例展示了虚拟现实技术、地震

子波重构技术等地震资料解释新技术在柴达木盆地岩性勘探中应用情况。

2 虚拟现实技术在柴北缘南八仙地区岩性勘探中的应用

虚拟现实技术(Virtual Reality)是20世纪60~70年代在美国发展起来的新技术,最初应用于军事和宇航领域,后来在建筑设计、城市规划、气象预报、医学等领域也得到广泛应用。20世纪90年代中后期以来,虚拟现实技术在国外已被成功地应用于三维地震资料的解释、目标钻井设计、远景评价、地质建模、钻井平台的设计和水平井轨迹设计等方面。21世纪初,我国也相继建立了一些虚拟现实中心,虚拟现实技术也被广泛用于勘探生产实践中,特别是针对勘探难度较大的岩性油气藏。

2.1 南八仙地区的基本地质概况

南八仙地区位于柴达木盆地北缘隆起,西北紧邻冷湖七号构造,东与马海构造相连,南以陵间断裂与伊克雅乌汝凹陷相望。构造形态比较简单,为一被多组断层复杂化的背斜构造,轴向近东西向。目前,工区内共钻各类井57口,这些井大都集中在构造顶部(图1)。

* 河北省涿州市东方地球物理公司研究院,072751
本文于2008年2月16日收到。

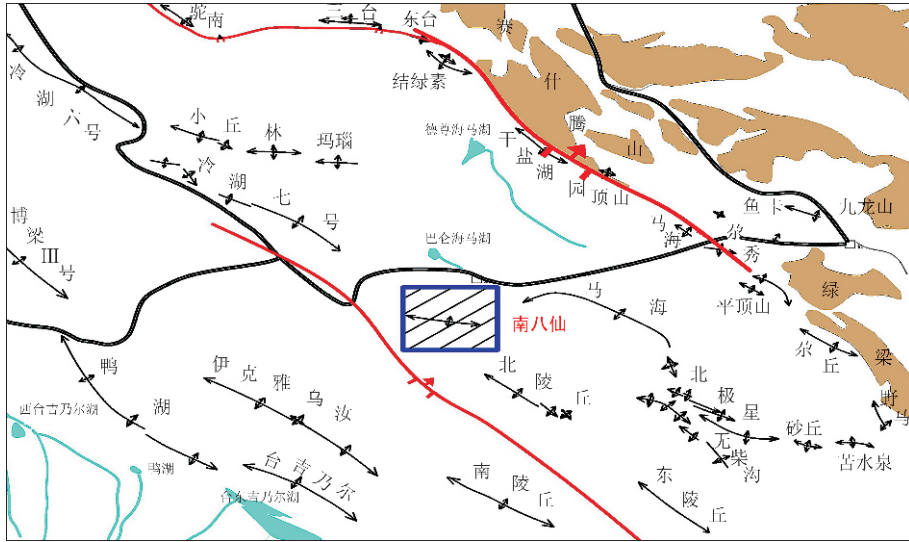


图 1 南八仙三维区域位置图

本区断层发育,在浅层目的层中发育了三组断层:一组为近东西向断层,位于背斜构造中西部的轴部上,主断层为仙北断层,由南向北逆冲,在其上升盘上发育了一组正断层,剖面上形成“Y”字型结构;紧邻第一组断层的东面、背斜构造轴向倾没处发育了第二组断层,这组断层平面上呈西北—东南向“帚状”或斜列状展布,剖面上呈复杂的“Y”字型结构,断层皆为正断层;第三组位于工区西部,为一组近南北向的正断层,在剖面呈“Y”字型对掉,或呈台阶状发育。这三组断层纵横交叉,使南八仙背斜构造更加破碎和复杂。三组断层主要发育于工区的西部和中部的构造轴向部位,造成这些部位地震资料的信噪比降低(图 2)。

工区内东北和东南区断层不发育,资料品质较好,这为我们应用虚拟现实技术寻找岩性圈闭目标

提供了可能。虚拟现实技术中的“多个数据体结合”技术对刻画断层具有很强的表达能力,通过这项技术,把南八仙构造的断层发育区和非发育区很好地区分开来,明显地揭示了断层发育特征(图 2)。

沉积相研究结果表明,在本次研究的目层 N_2^1 (下油砂山组)和 N_1 (上干柴沟组)沉积时期,区内的沉积环境主要为三角洲平原相—三角洲前缘相,地形平坦,水上、水下分流河道发育,不同时期分流河道沉积纵横交错,形成了很多具有曲流河、网状河沉积特点的砂体,为形成岩性油气藏提供了有利的砂岩储层。

多年的钻探结果证实,南八仙油气田是一个上下双层结构、二次成藏的复合油气藏,早期(E_3^2 以下)油藏为原生油气藏,后期由于构造运动原生油气藏受到破坏,油气顺着断层向上运移,在浅层地层 (N_1 、 N_1^2 、 N_2^2)中二次聚集成藏。钻探结果表明浅层油气藏受构造、断层和储层三种因素影响。断层作为重要的油源通道,是沟通油源和上部储层的重要桥梁,离断层越近越容易捕获到油气,从现今油田的分布情况已经证实这一点。从单个油层只分布于构造顶部且油气边界和构造等高线不重合这些事实说明,南八仙油气藏除了受断层控制外,还受构造和储层的分布情况等因素控制。

根据这一认识,如果在目前已发现的油田区之外的构造斜坡背景上找到良好的岩性圈闭,只要解决了油源通道的问题,岩性圈闭成为岩性油气藏的可能性就大大增加,因此在南八仙地区研究岩性圈

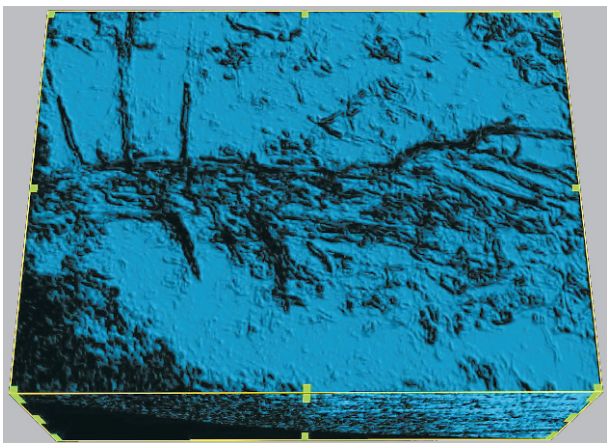


图 2 南八仙三维区断层在相干体上的展示

闭必须要结合作为油源通道的断层的研究。

2.2 虚拟现实技术的应用

2.2.1 河道展布情况

虚拟现实技术可通过对沿着某一层位拉平后的数据进行快速的浏览,在浏览拉平后的数据过程中,更容易发现感兴趣的地质目标。经过这项工作,在目的层 N_2^1 (下油砂山组)和 N_1 (上干柴沟组)中共发现了较为清晰且延伸较长的河道沉积约 20 余条。图 3~图 7 以不同的表现形式刻画了这些河道沉积的空间展布形态。

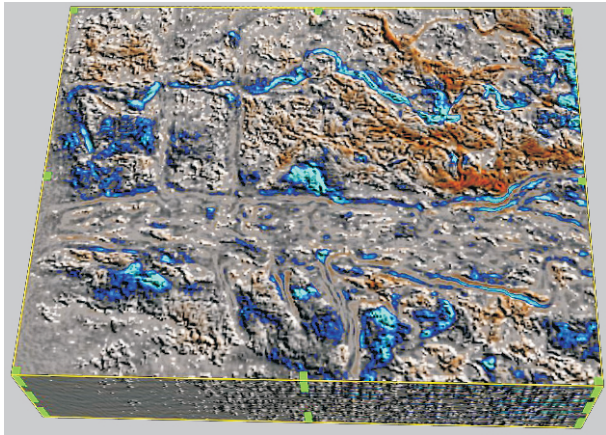


图 3 在数据体显示的河道沉积现象

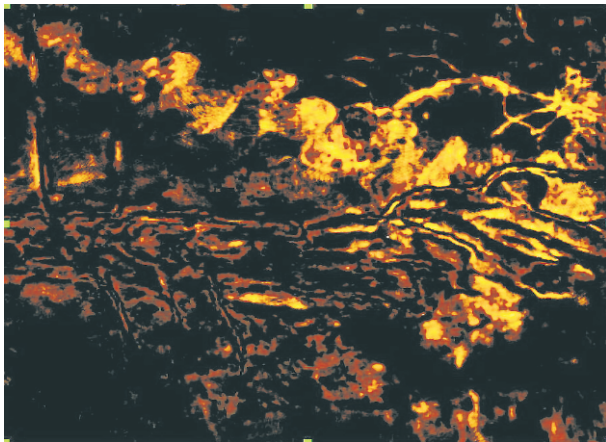


图 4 河道的透视效果

这些河道沉积分属于不同地质时期,其发育规模、形态和延伸方向也不尽相同。在本区可识别的河道中,最大长度为 11km,最大宽度为 1800m,最小识别宽度为 50m。那些较为宽阔的河道一般也不是单条河流的沉积,而是一条河流来回摆动或几条河道叠置的结果(图 4、图 6)。在可视化雕刻中有时可分辨出河道叠加的现象,有时则混在一起不可分辨。

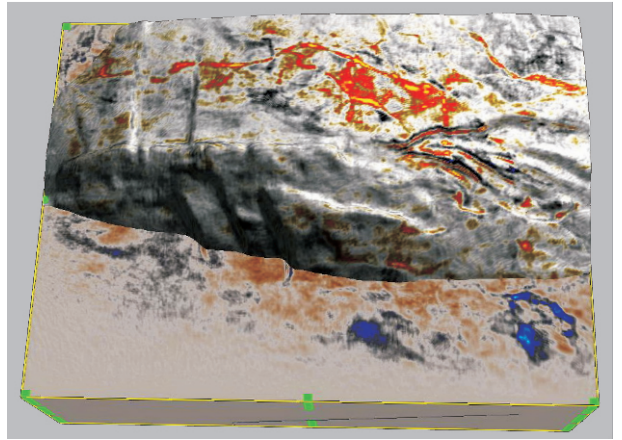


图 5 河道的立体显示

2.3 分析岩性圈闭

当在沿某一地震层位拉平后的数据上发现目标后,虚拟现实系统 GeoProbe 软件提供了追踪对比地质目标(地震异常)的重要方法:在目标区通过“点(Point)”追踪,形成“点集(Points)”,将“点集”转换成“界面(Surface)”,再把“界面”进行反拉平(Unflatten),最后将反拉平后的“界面”转换成“地震层位(Horizon)”,这样就可以清楚地看到所发现的地质目标了。接下来,就可以对目标进行成像、计算有效岩性圈闭面积,并对其进行含油性分析,最终提出钻探建议。

在南八仙三维地震资料的解释过程中,选取了单个规模较大、剖面特征比较清楚的目标进行了反拉平后的层位转换和深入分析。

(1) 1号河道 位于工区北部的目的层, N_1 (上干柴沟组)内部,在地震剖面上表现为一能量较强的反射,能量突变点清楚,且上、下地层没有断层迹象显示;在平面上形态合理,总体呈西北—东南方向展布。现今构造背景为西北低,东南高,西部倾没端穿过工区内的南北走向断层,河道东部向东南方向弯曲,并穿过背斜构造轴部的断层(图 6)。河道在工区内可识别的长度约为 11km,宽度为 600~900m。

分析钻井资料发现,有 3 口井穿过该河道砂体边缘,分别是仙 104、仙 107 和仙中 19 井。试油结果显示,位于最低部位的仙 104 井没有见到油气显示;位于较高部位的仙 107 井,对该层综合解释为油水同层;位于构造较高部位且邻近油源断层的仙 19 井,试油结果为 1.02t/d。这一结果不仅证明了河

道砂体的存在,同时也证明了南八仙油气藏受构造、储层和断层三种因素控制的结论。

根据以上结论和认识,对所发现的目标进行重新分析和筛选,并考虑到河道发育规模、上倾方向能够形成一定面积的岩性圈闭等因素,优选出了 2 号河道。

(2)2 号河道 位于 1 号目标的北面,二者展布方向近乎相同,但纵向上 2 号河道砂体更浅一些,属于 N_2^1 (下油砂山组)上部,规模上也稍显小些,长度约为 7km,宽度约为 500m。在 2 号河道砂体的中部,还可清楚的看到类似决口扇一类地质现象。

在剖面上 2 号河道表现为:在杂乱反射背景下显示的一个强振幅反射段,其在两侧也无断层迹象。

在图 7 的地震剖面上(垂直物源方向的剖面),可看到很多能量强而短反射,经追踪可雕刻,它们都是小型河道的沉积,只是在平面上一般可连续追踪的长度较短,从 2~3km 到 5~6km 不等,宽度也较小,一般为 50~150m。2 号河道是在其中规模较大、边界较清晰的一个(图 7 箭头所指)。

经对比、追踪和成图,在 2 号河道砂体东端与上倾方向的断层接合部位形成了一个面积为 1.81km²的圈闭。上倾方向的断层可作为疏通下部油源的通道断层,使该圈闭捕获油气而形成油气藏,因此该圈闭是油田区之外非常有利的圈闭之一。据此,提供了一口设计井,相信该井的钻探会为油田增加一块新的含油面积,并成为一个岩性油气藏。

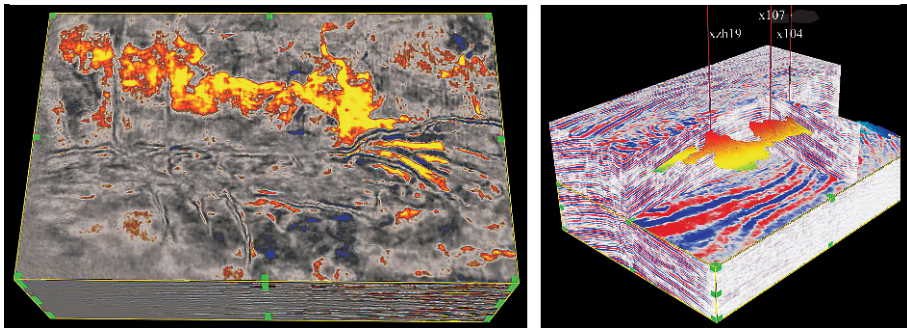


图 6 1 号河道在拉平数据上显示

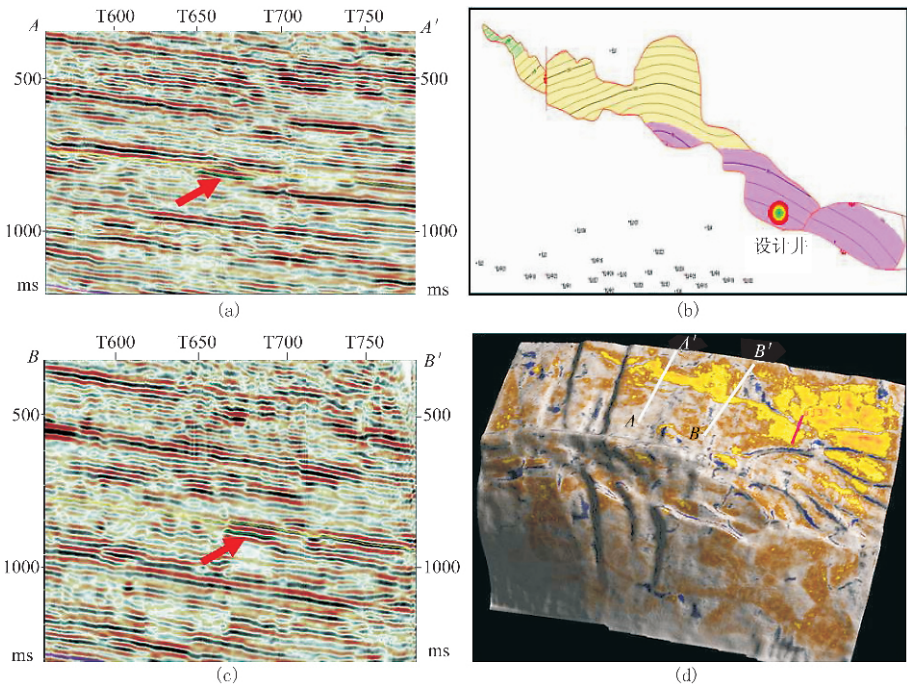


图 7 2 号河道的平面、剖面 and 立体显示

(a)AA'测线剖面图; (b)平面位置图; (c)BB'测线剖面; (d)立体图

3 GeoCyber 地震子波分解与重构技术在跃东地区的应用

3.1 技术原理简介

GeoCyber 地震子波分解与重构技术是近年出现的一项新的解释和储层预测技术,它包含三项主要的内容;地震子波的分解与重构、地震信号频谱与频谱衰减分析和地震数据体的波形分解。其主要功能是能有效解释断层、探测砂体分布、划分沉积相带和进行含油气预测,做到提高解释精度,提高油藏分析的能力和油藏分析的准确率,减少解释的不确定性,降低勘探成本。

3.1.1 地震子波分解与重构

众所周知,地震勘探中常用的地震模型是褶积模型,即一个地震道可以理解为或解释为一个地震

子波与地层反射系数序列的褶积,然而这个单一子波的褶积模型与实际情况有很大差异。地下不同物理特性的地层,如储层和非储层、含油气储层和不含油气储层的地震响应不同,地震子波在穿过不同地层时所受到的改造也不同,其形状会发生不同的变化。因此基于单一地震子波的褶积模型的一些常规储层及油气预测的方法就存在一定的局限性,一方面可能丢掉有价值的、有关储层和其含油气性的信息,另一方面也可能引入假信息。

多子波地震道分解技术突破了许多常规的地震信号处理和解释中的单一地震子波的假设,它可以将一个地震道分解成多个不同形状,不同主频率的地震子波。用这些子波重新组合,就可以精确地重构出分解前的地震道,即把一个地震道分解成一个不同形状的地震子波集合(图8)。

地震道分解后,可以对子波进行筛选,重新构建

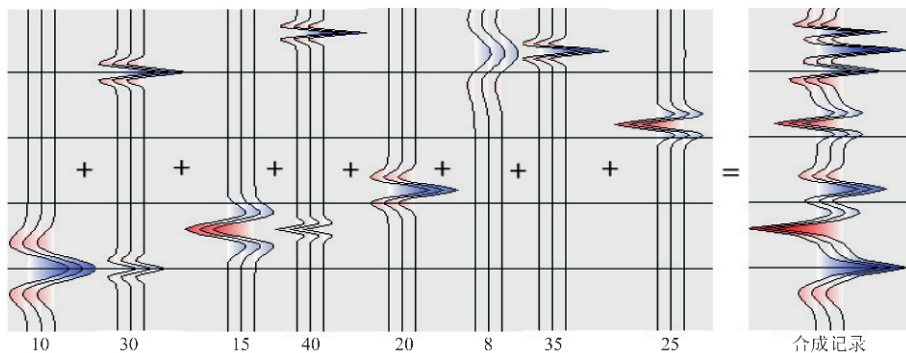


图8 用不同主频子波合成地震记录示意图

出新的地震道,如果该地震子波集合的所有地震道都用于重构,则重构的地震道和原始地震道基本是相同的,只存在微小的可以忽略的误差。在重构中可根据已知钻井的储层和油气层资料,选取与储层变化或油气变化相关的子波,舍弃那些与储层变化和分布没有直接关系的子波,重新合成新的地震数据体。新合成的地震数据体将最大限度地反映储层的横向变化,为储层及其含油气性的横向分布预测提供有效的依据。

3.1.2 地震信号频谱与频谱衰减

地震波在穿过不同物理特性的地层(含油气层和非油气层)时,其频率衰减也不同,因此频谱特征和频谱衰减的横向变化为储层和含油气性预测提供了重要的依据。

将地震道分解成不同主频的雷克子波后(目前该技术还只能达到分解的子波为雷克子波),由于

雷克子波的频谱是一个解析函数(Ricker, 1953),因此通过子波频谱的叠加就可以计算任意地震信号段(不低于一个子波长度)的频谱。从理论上,只要在给定的地震信号段内有子波存在,其频谱就可以精确地计算出来。

3.1.3 地震数据体的波形分解

地震体分解是一种提取线性相似地震波形状的分解与合成的方法。这一方法把输入地震数据段分解成若干个分量。第一分量波形代表了所有输入的地震数据段中具有最大共性、最大能量的波形;第二分量代表了去掉第一分量后的地震数据段中具有最大共性、最大能量的波形;第三分量则代表了去掉第一和第二分量后的地震数据段中具有最大共性、最大能量的波形;依此类推。一般高阶分量很少有共性,大多为噪声。相似波形和振幅的同一地震分量反映相应地质层段的相似的物理特征和岩相特征,

即相似地震响应具有相似的地质岩性或岩相特征。因此第一分量反映了该地区最大一级的地质岩性或岩相分类;第二分量则反映了该地区次一级的地质岩性或岩相分类;依此类推。因此,地震体波形分解为我们提供了一个有效地识别不同等级中不同地震响应的地质岩性和岩相块体的有效方法。

3.2 跃东地区的基本地质概况

跃东构造位于柴西南区跃进一号构造的南面、阿拉尔断层下盘,为一个轴向近东西的断背斜构造。

现有钻井 12 口,大部分位于构造高部位的探井在 Es₃ 中获得了工业油流。位于构造翼部的跃 23 井和跃东 101 井没有获得工业油流;而位于构造更低部位的跃东 2 井和跃 30 井,却获得低产工业油流,说明该油气藏是个受构造和岩性双重控制的油气藏(图 9)。

3.3 重构技术的应用及效果分析

在对跃东构造的储层分析的过程中,曾经应用过地震属性、地震反演方法和谱分解等技术手段,但

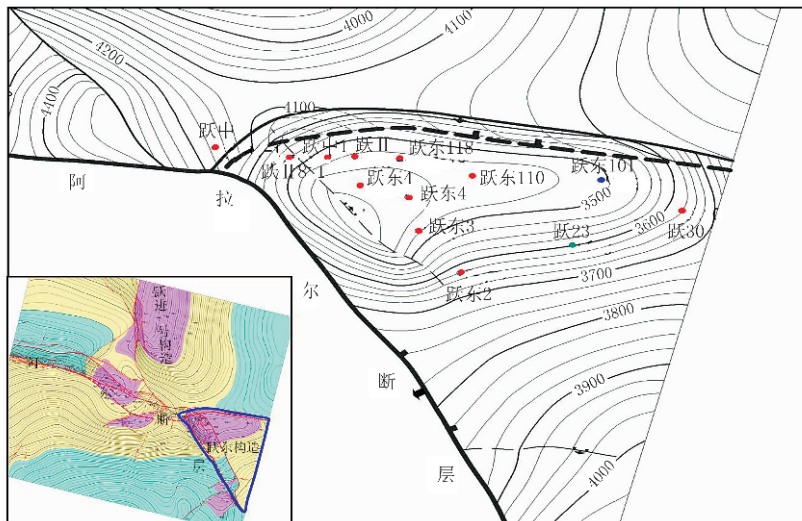


图 9 跃东构造区域位置图

由于储层较薄、地震常规属性变化不明显和地震分辨率较低等因素制约,效果不理想。在尝试应用 GeoCyber 地震子波分解与重构技术后,效果很好,尤其是对砂岩发育区的识别效果更佳。

3.3.1 重构剖面上产油区和非产油区的差异

把原始地震数据进行子波分解计算后,根据与产油井和不产油样本井的对比分析后,筛选出了 16~23Hz 子波进行了地震剖面重构。重构后的地震剖面与原始地震剖面相比,在含油气目的层段表现出明显的差异(图 10)。在重构剖面上显示储层发育,并且在获得工业油流的跃东 110 井和跃 30 井区部位,表现为能量较强的反射,而储层不发育的跃东 101 井部位则为空白反射,这种差异一目了然。而与储层上覆的泥岩段反射特征则无明显差异;与原始地震剖面相比储层段的强反射特征也只有较小的差异。在原始的地震剖面上产油井区和非产油井区(或储层发育区和非发育区)的剖面特征无论从振幅、频率,还是波形特征上都很难区分开来。

由图 10 可知,采用 16~23Hz 的子波重构剖面能很好地把产油井区和非产油井区,或储层发育区和非发育区区分开来,可为正确划分储层发育区和圈定油气边界提供重要依据。

3.3.2 频谱衰减图上产油区和非产油区的差异

在油层顶、底分别选取一定的时窗,对地震子波频谱进行运算,然后,二者相减得到频谱衰减图。图 11a 显示了储层相对发育且产油的跃东 110 井区和跃 30 井区的频谱衰减特征,与没有见到油气的跃东 101 井区相比,表现出明显的差异,人们很容易地划分出二者各自的边界范围。

图 11b 是一条过跃东 110 井—跃 23 井—跃 30 井的频谱衰减图,其中跃 23 井是在目的层段储层较发育但产水的情况下,亦可看到油层顶、底的地震子波频谱相减后产油区和产水区的明显差别。这种差别与储层不发育的跃东 101 井的表现有些不同,但可和油区明确区别开来。造成两个频谱衰减图上非产油井区出现不同表现的原因,可能就是“一个储层

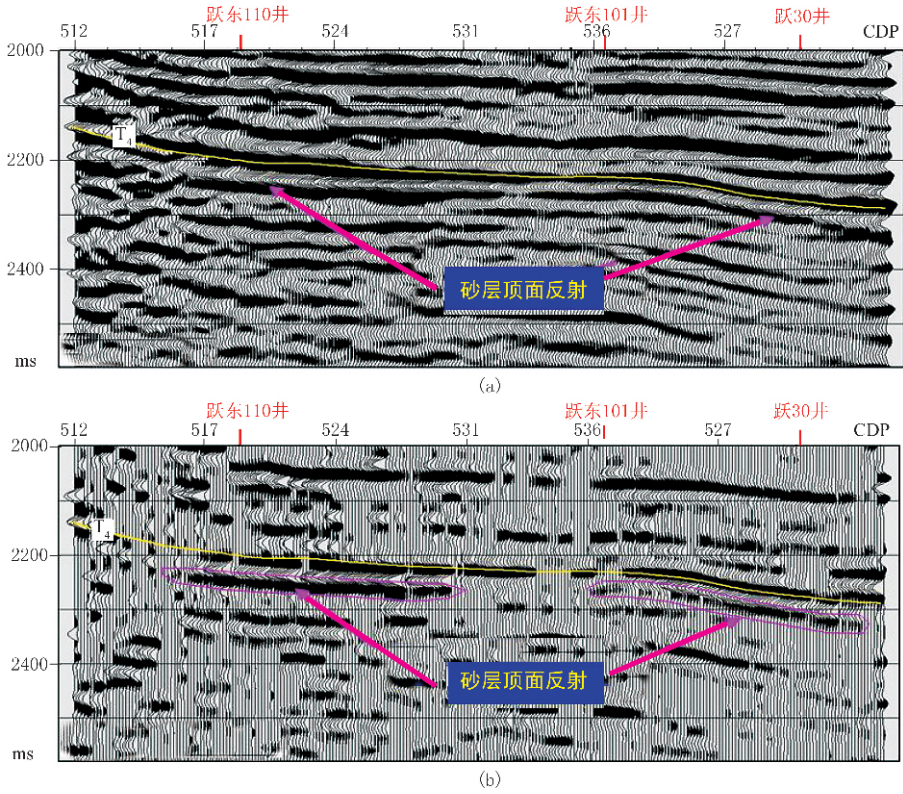


图 10 原始剖面(a)与 16~23Hz 子波重构剖面(b)

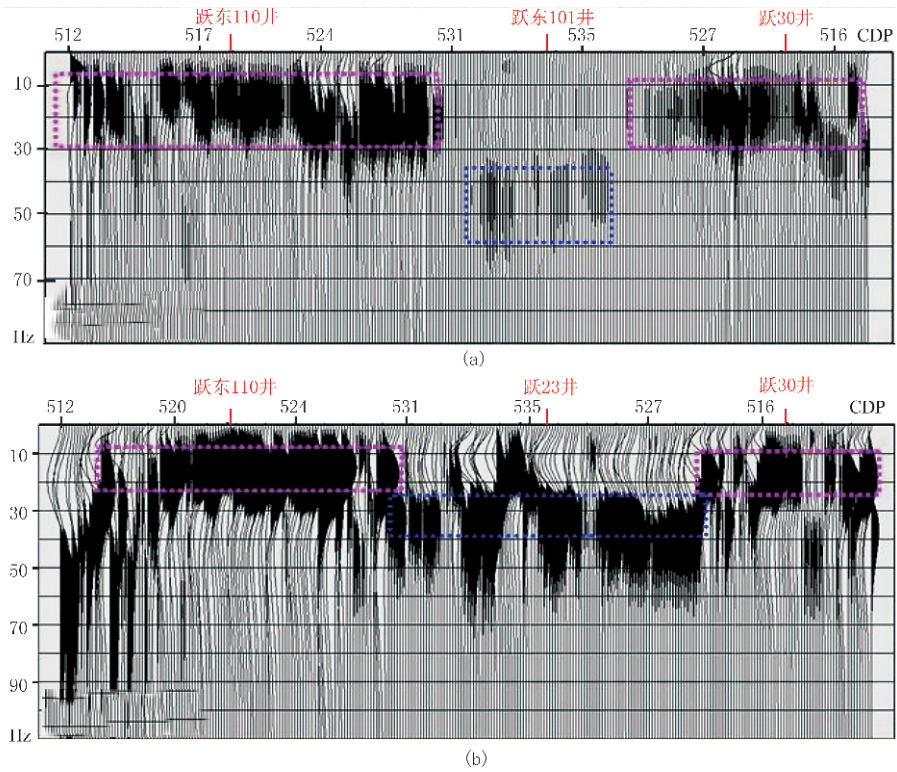


图 11 频谱衰减剖面

(a) 过跃东 110 井—跃东 101 井—跃 30 井; (b) 过跃东 110 井—跃 23 井—跃 30 井

不发育、一个储层发育但含水”造成的。这个结论还需在以后更多的实例中加以验证。

3.3.3 地震波形分量上产油区和非产油区的差异

在地震波形分量分析中,不同的波形分量对砂岩的发育变化也有较好的区分。在反映大的地层和岩相变化的一级波形分量平面图上(图 12a),除跃东 101 井区和研究区南部区域外,跃东构造的高部位和跃 30 井、跃 23 井基本都处于同一类沉积岩相带上,只是构造高部位能量更强些,能量的整体变化趋势呈现了由西向东、向南逐渐变弱的趋势。这与沉积相研究的结果,即物源自西向东、储层逐渐减薄

的沉积特征相一致。此结论也证实了跃 23 井虽然未出油但储层发育的事实。

在反映细微岩相、岩性变化的三级波形分量平面图上,跃东 101 井区和研究区南部区域的能量特征与其他地区有更明显的区别,通常表现为极低的能量。构造高部位的主力产油区能量最高;跃 23 井一跃 30 井区能量次之。能量的基本变化趋势也表现出了由西向东、向南逐渐变弱的趋势,与一级分量图相比,能量变化的分区性更明显、更细致,这也恰恰反映出了与大一级岩相相比,此时微相横向变化较快,更不稳定的分布特征(图 12b)。

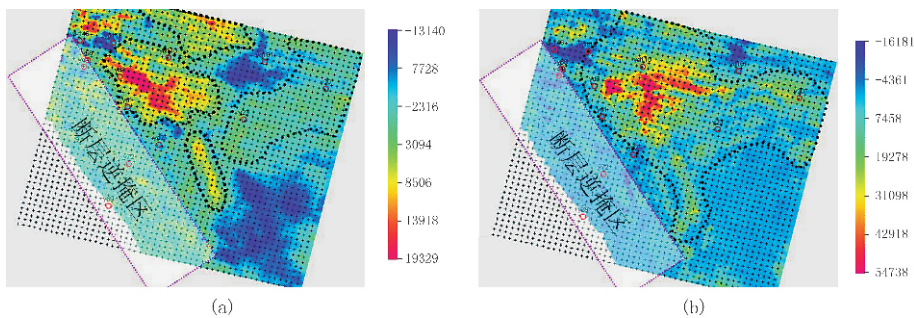


图 12 E_{s3} 油层顶面地震反射波形分量平面图

(a)一级分量平面图;(b)三级分量平面图

另外,在地震波形三级分量图上,根据波形分量与有利储层发育区的对比发现,在原主力产油区的北边和南边还发现两块储层发育有利区,面积分别为 1.28km^2 和 1.17km^2 ,可为下一步钻探提供了方向和依据。

4 结论与建议

通过对虚拟现实技术和地震子波重构技术的实际应用,有以下几点体会和认识。

(1)虚拟现实技术具有以下特点:①浏览数据快,可更容易发现地质目标;②多种数据结合,展现效果明显;③立体透视效果,可清楚刻画地质体。该技术是寻找河道、透镜体、礁体和小型三角洲等地质体的有利工具,但该软件对资料的信噪比和层位解释要求较高,否则会形成很多假象,误导勘探方向,因此特别提醒使用者在工作中特别注意,一定要细致认真,注意甄别真假地质现象,提供可靠的成果。

(2)GeoCyber 地震子波重构技术在区分沉积带、岩性变化,以及油气层变化上具有新的视角和方法,效果也较好,是研究储层非常有用的一项技术,但该软件目前推出时间较短,还存在着许多不完善的地方,如:分解子波时目前只能按雷克子波进行分解,这与实际情况还有一定的差异。

另外,由于笔者应用这项技术的经验上还不足,又难以找到相关的参考文献和成功的实例用以借鉴,有些结论还需和同行及专家们共同讨论,如对砂岩的厚薄,对于层、水层、油层等区分是否能够达到满意的效果,还需今后在更多的地区加以应用,进行检验和总结。

参考文献

- [1] 冉建斌,何峰.虚拟现实系统及三维地震数据解释.石油地球物理勘探,2006,42(1):36~42
- [2] 赵国庆,赵华,湛林福等.虚拟现实技术在石油勘探中的应用.石油大学学报(自然科学版),2005,29(1)

(本文编辑:张亚中)