

· 经验交流 ·

王斜 119 地区沙四段储层预测方法及应用

王新征* 王 萍

(胜利油田有限公司现河采油厂)

摘 要

王新征,王萍. 王斜 119 地区沙四段储层预测方法及应用. 石油地球物理勘探, 2002, 37(2): 185~190

王斜 119 地区沙四段为近几年来成功地利用测井约束反演技术进行储层横向预测的典型区块。该区油气藏类型主要以构造—岩性油气藏为主,岩性以灰质、泥质粉细砂岩为主,沙四段储层横向变化大,而且围岩中碳酸盐岩含量较高,砂泥岩速度差异小。因此,为了精确落实该区有利储层展布范围,利用相干技术进行精细、准确的断层落实,利用频率域储层特征曲线匹配技术进行特征曲线重构,从而进行测井约束地震反演、储层预测,经钻探证实该预测方法准确可行,钻探成功率高。

关键词 相干 地震反演 储层横向预测

ABSTRACT

Wang Xinzhen and Wang Ping. Method for prediction of Es₄ member reservoir and its application in Wangxie 119 area. OGP, 2002, 37(2): 185~190

The Es₄ member in Wangxie 119 area is a typical area where lateral reservoir variation is successfully predicted with logging-constrained inversion technology in recent years. Structural-lithological reservoir is the principal reservoir pattern in the area. Es₄ member, whose dominate lithology is lime and shale sand, varies tremendously in its horizontal direction. Since there is more limestone in its periphery, the difference in velocity between sand and shale is small. Therefore, in order to precisely reveal the productive accumulation zone, coherence technology was used to delineate faults and matching technique of reservoir-characteristic curve in frequency domain was used to reconstruct well logs, which was used for logging-constrained inversion and reservoir prediction can be done. It is confirmed by drilling results and the method is feasible and has a high successful rate of drilling.

Key words: coherence, seismic inversion, lateral reservoir prediction

引 言

王斜 119 地区位于济阳拗陷东营凹陷王家岗油田东部,北临广利油田,东接八面河油田。构造上位于八面河断裂带西部,全区被广利三维工区覆盖,主要含油层系为沙四段。王斜 119 断层为一南掉反向屋脊型,断层东西向展布,延伸长度近 3km,断面南倾,倾角为 50°~60°,断距为 30~60m;地层向北西倾没,南东抬起。构造线与断层

线斜交,构造圈闭条件较差,油藏类型为岩性或构造—岩性油藏。

根据岩心观察和取心资料分析,该区沙四段为滨浅湖滩坝相沉积,储层为灰质砂岩、泥质砂岩、粉细砂岩、细砂岩,地层中普遍存在灰质。储层横向变化大,砂泥岩速度差异不明显,利用声波资料进行测井约束地震反演,预测储层和进行砂体描述效果不佳;而利用频率域储层特征曲线匹配技术进行特征曲线重构,从而进行测井约束地震反演和储层横向预测,效果明显。

* Wang Xinzhen, Xianhe Oil Production Factory, Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying City, Shandong Province, 257068, China
本文于 2001 年 12 月 20 日收到。

断裂系统的确定及层位解释

利用精细准确的地震解释结果作为控制层建立地质模型,是反演质量控制的关键,而应用相干技术进行断层平面组合,是精细准确地地震解释的前提。因此,在地震解释前先对该区三维数据体进行相干体处理。

相干技术的应用

相干体技术主要是通过量化地震相干属性生成断层和隐蔽地层的可解释图像,它是通过在纵向和横向分析局部波形得出三维地震相干度的估计值获得的。由于相干度计算突出了非连续性,可以获得断层或相变地层的无偏图像,而不受地层和断层倾角的限制,与在时间切片上识别断层的传统方法比较,不仅大大提高了精度,而且提高了解释效率。

从原理上讲,地震相干数据体根据所给数据体的道数、倾角大小和计算时窗的大小进行计算,用下式计算出相关系数

$$R(t, \varphi_{\max}) = \frac{\sum_{L=t-N/2}^{L=t+N/2} T_L T'_{L+\varphi}}{\sum_{L=t-N/2}^{L=t+N/2} T_L^2 T'^2_{L+\varphi_{\max}}}$$

式中: R 是相干系数,为地震道时间和两地震道倾角的函数, t 是时间, φ 是倾角; T_L 和 $T'_{L+\varphi}$ 是相邻地震道数据对。

图 1 所示的黑色条带指示的是相邻地震道相干性较差的部位,横向具有一定连续性的条带解释为断层,在时间切片上完成对断层的空间解释,输入层位解释结果,沿层进行相干数据体断层平面组合,做到精细准确落实断层。从本工区相干体处理的切片

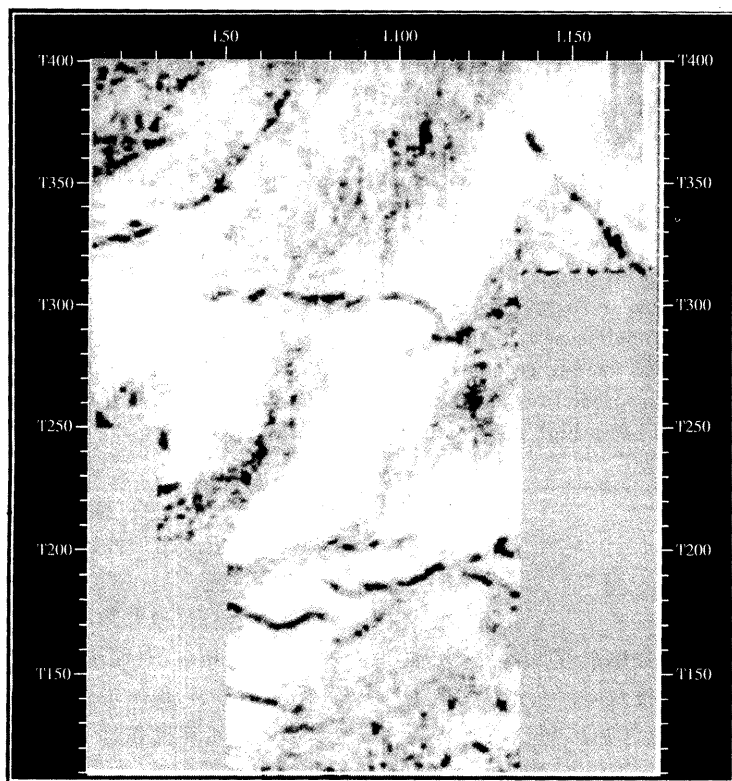


图 1 相干数据体切片

来看,沙四段主要发育一些近东西向和北西—南东向展布的断层,断层延伸长度为 1~2km。

准确可靠的地震解释

在精确落实断层的基础上,要进行准确可靠的地

震解释必须综合运用测井、钻井等资料,对工区进行地层对比以及通过合成记录制作来进行层位标定。

地层对比

以 WX119 井的分层方案为基础,制作南北、东

西向连井剖面,对研究区沙四段4个砂层组进行了划分对比。沙四段地层厚度自北向南逐渐减薄,其中沙四1砂层组、沙四2砂层组逐渐减薄至尖灭,沙四3砂层组、沙四4砂层组厚度比较稳定,但内部单砂层厚度变化较大。

根据地层对比情况及测井、录井资料分析,该区沙三段底界为一套灰绿色—灰色钙质泥岩与灰色泥岩,录井上解释为沉积间断面。自然电位曲线上无异常,声波曲线上为由高速到低速的界面。沙四段内部可分为四个砂层组,岩性主要以棕褐色及灰褐色油页岩、浅灰色、灰绿色泥岩夹砂岩、细砂岩及白云岩为主。其中沙四1砂层组底界为一套细砂岩底界,声波曲线上为高速变低速的台阶;沙四2砂层组底界为一套灰色泥岩的底界,其上部有一套薄层细砂岩,自然电位曲线呈现负异常;沙四3砂层底界为一套细砂岩与泥质细砂岩的分界面,声波曲线上为由低速变高速,其上部有两套薄层细砂岩,自然电位曲线上为明显负异常;沙四4砂层底界为一套灰绿色泥岩与灰黄色钙质泥岩的交界面,下部白云岩较发育,声波曲线由高速变低速。

纵观全区声波曲线上砂岩的响应特征,砂岩与钙质泥岩的速度差异不明显。

层位标定及综合地震解释

研究区内大多数井为斜井,通过井斜校正制作人工合成地震记录进行层位标定。通过正、反极性合成记录制作及对比,认为该研究区三维地震资料为正极性,即正反射系数对应地震资料的波峰。准确的层位标定和断点落实,为地震反演控制层位的解释打下了基础。按照地层对比划分结果,对目标层层段的六套控制层进行了标定解释;从解释结果看,研究区构造形态整体上表现为自南东向北西倾的单斜构造,中间被近东西向或北西—南东向断层切割。

基于多井约束反演的地震岩性解释

多井约束地震反演是一种基于模型的波阻抗反演技术,它利用地震资料,以地质钻井和测井资料为约束,对储层的物理结构和物理性质进行成像的过程。因此测井资料标准化处理和曲线重构匹配技术的应用是获得良好反演结果的保证。

数据的标准化处理

为了克服不同年代、不同仪器测量造成的系统误

差——“基值漂移”,在约束反演前,对所有井的测井曲线进行了标准化处理。首先剔除原始曲线上的异常点、突变点,克服因井壁滑塌等外界因素以及测量过程分段拼接端口异常高值的影响;在保证原始数据质量的基础上,对不同井曲线按统一的层段将曲线机制归一化。首先选取岩性、电性特征明显,分布稳定,并且有一定厚度的岩层作为标准层,然后利用交会分析技术做出各井的测井响应频率直方图,依据频率直方图确定的特征峰值进行定性分析与定量校正。

特征曲线匹配

根据测井、录井资料分析,本区沙四段泥岩中碳酸盐岩含量较高,因而泥岩速度较高,造成砂泥岩速度差异不明显。这对于波阻抗反演剖面的岩性解释非常不利,因此采用曲线匹配重构技术获得适合本区特点的特征曲线。

通过测井曲线的对比分析,自然电位曲线最能反映该区砂泥岩特征(图2),图中对应自然电位呈负异常的井段认为是渗透性砂岩较发育的层段,但对应的声波曲线有的表现为高速,有的表现为低速。因此,采用测井曲线频率结构匹配技术进行了储层特征曲线的重构,形成特征曲线,其特点是:

(1)特征曲线数值符合地球物理规律;

(2)从匹配后的特征曲线的频率结构分析,其高频端曲线特征更接近于声波曲线,低端成分特征更接近于自然电位曲线;

(3)频率域结构匹配后的特征曲线具有与测井曲线一致的频谱特征,即低频端幅度大,随频率增高,幅值逐渐减小,到一定频率后,幅值不再减小;

(4)特征曲线建立的模型较真实地反映了纵、横向的岩性变化,其完整的高低频信息可以作为地震有限频率成分的补充。

(5)在地震分辨率尺度内,储层特征曲线的合成地震记录与原地震记录基本一致;

(6)使用储层特征曲线进行约束反演能够进一步突出并识别储层。

多井约束反演(稀疏脉冲反演)

方法原理

对每一地震道,使目标函数

$$\sum (r_i)^p + \lambda^q \sum (d_i - s_i)^q + \alpha^2 \sum (t_i - z_i)^2$$

达到最小,其约束条件为:

$$Z_n < Z_i < Z_m$$

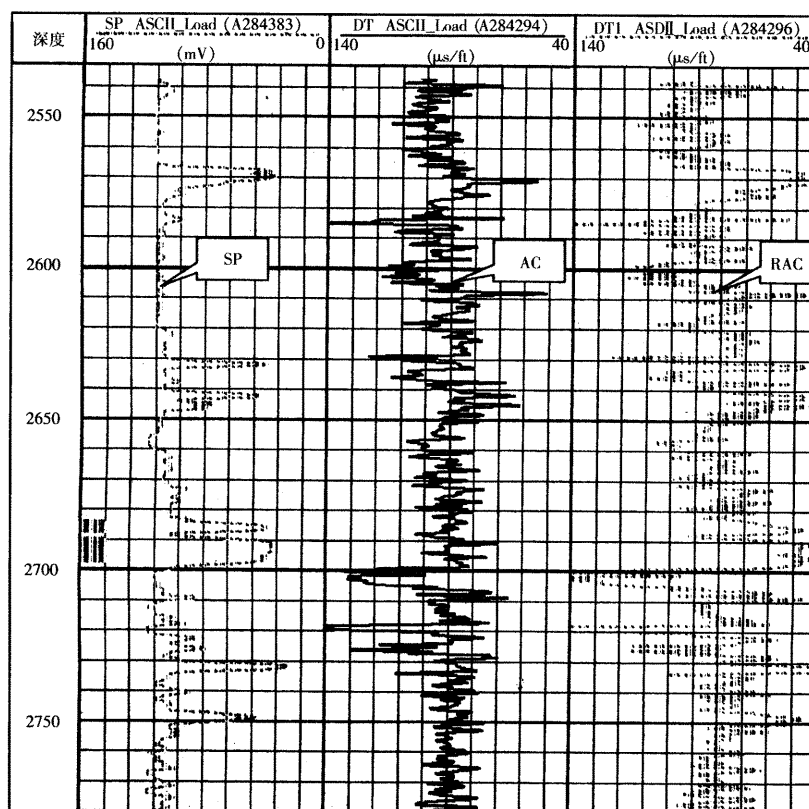


图2 曲线匹配重构对比图

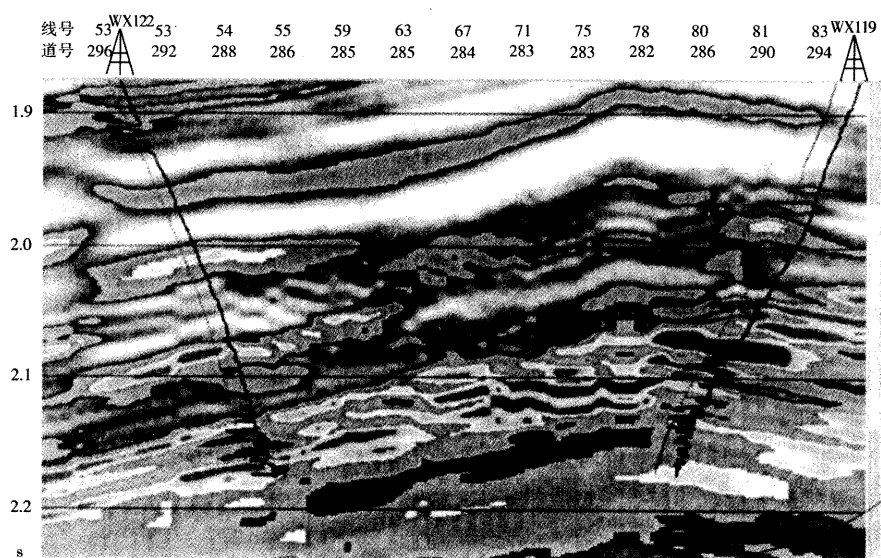


图3 过 WX123~WX119 沿井轨迹连线的反演波阻抗剖面

其中: $r_i = (Z_{i+1} - Z_i) / (Z_{i+1} + Z_i)$ 为地震反射系数; Z_i, Z_{i+1} 为波阻抗; d_i 为地震数据; s_i 为合成地震记录; Z_{il} 和 Z_{iu} 分别为波阻抗下限和波阻抗上限; t_i 为波阻抗趋势; λ 为地震数据匹配加权因子; α 为趋势匹配加权因子; p, q 为 L -模。

参数选择:

(1) λ 因子起到平衡波阻抗细节及与地震观测数据匹配的作用。低 λ 值突出反射系数(或波阻抗)项,使求得的波阻抗差异小,缺少细节,且合成记录与实际数据匹配较差;高 λ 值则强调合成地震记录与观测数据的匹配,反演结果精细且残差小。

(2) 若 p 位于 $[0, 1]$ 区间内,则解稀疏;若 $p > 1$, 则解趋于带限化。一般取 $q = 2$, 因为 $L2$ -模对输入数据中的猝发噪声很敏感,它也可被设为一较小值。

(3) 最后一项是为了稳定低频成分,可通过 α 设置的值作为反演过程的软约束。

稀疏脉冲反演基于两个假设条件:①地下反射系数的出现符合泊努力分布;②反射系数的大小符合高斯分布。在上述假设的基础上,用地震道进行反褶积运算来估算反射系数,从而利用井来建立初始

波阻抗模型,以补充地震有限频宽的不足。

图 3 为该方法反演波阻抗结果。从图中可以看出,地层分辨率较原始地震剖面有了较大提高。地震剖面上目的层砂体反射同相轴比较杂乱,不连续,难以追踪对比,而在反演波阻抗剖面上砂体横向变化清楚,能够识别砂体尖灭位置,与实际情况吻合较好,充分证明了反演的可靠性,为储层预测提供了保证。

地震岩性综合解释

地震资料中包含着丰富的岩性、物性信息,经过地震反演,可以把界面型的地震资料转换成岩层型的测井资料,使其能与钻井、测井数据直接对比,以岩层为单元进行地质解释,充分发挥地震在横向上资料密集的优势,研究储层特征的空间变化。

综合测井、录井、反演资料,在主要目的层沙四段确定了五套追踪砂体(图 4),这五套砂体在地震记录上表现为地震波峰,在波阻抗剖面上表现为高速层。在综合研究过程中采用了:①斜井标定技术;②相干体处理技术对全区断层进行解释;③三维地



图 4 砂四 4 储层平面预测图

震资料精细解释技术,对全区 T_6 、 T_7 、 T_7' 及沙四构造进行精细研究;④储层横向预测技术,精确落实构造及构造—岩性油藏分布面积,进行储量预测。

构造及圈闭特征

从目标层沙四 1~沙四 4 砂层组五套砂体全区预测顶面构造图看,工区沙四段构造面貌表现为由南东向北西倾斜的斜坡,根据相干体处理及断层精细解释结果,全区共发育 14 条断层,均为正断层,其中有 7 条反向正断层。断层主要呈近东西向展布。其中王斜 119 断层延伸长度 4km,最大断距约为 100m。区内构造线与断层多以喇叭口状向东展开,只有局部地区形成构造圈闭,断层将上、下盘储层错开,为油气藏的形成起到了封堵作用。

储层特征

对沙四 1 砂层组下部、沙四 3 砂层组中部、沙四 4 砂层组顶部、中部和下部的五套砂体进行了追踪和厚度预测。从各砂层厚度平面分布图看,沙四 1 砂层组对比性较好,分布稳定,但砂岩厚度薄,由北向南地层变薄至尖灭。从平面砂体分布图看,沙四 1 砂体主要发育在工区的北部,呈两个北东—南西向的砂岩条带,中间不连通,表明物源方向为北或北东方向。从目前刚完钻的 W129 井看,在沙四 1 砂层组发现了 1 层 1.9m 的纯油层,与预测比较吻合。

从沙四 3 砂层组平面厚度图看,该砂层组砂体主要发育在工区北部,砂岩横向分布比较稳定,表现出类似席状砂的沉积特点,总体上具有北厚南薄的变化趋势,因此认为物源应该是来自北部平缓的滩砂沉积。WX122 井恰好位于沙四 3 砂层组底部砂体向南减薄尖灭的位置,南部被王斜 119 反向正断层遮挡形成岩性—构造圈闭。

沙四 4 砂层组内砂体最发育,纵向上可分为三套,其中顶部砂体含油性最好,为该区主力含油层系。从平面厚度分布图(图 4)看,平面上厚度变化较大,具有北厚南薄、东厚西薄特征。根据岩性分析,本区沙四 4 砂层组顶部砂层物源来自北东方向,平面上砂岩成条带状分布,砂体分割性强,连通性差,王斜 119 与王斜 122 为 2 套东西向展布的互不连通砂体,被王斜 119 断层侧向封堵形成岩性—构造油藏。

油气成藏规律

从目前钻探结果看,油气成藏主要受两大要素控制:一是构造因素,二是岩性因素。通过分析研究,认为该区油气藏类型包括两类:一类是在单斜构造

背景上形成与东西向断层相匹配的断块构造油藏,断裂是油气成藏的主要控制因素,如广北 9 区块;另一类是砂体岩性尖灭,侧向受断层切割封堵的岩性与构造油藏,是该区的主要油藏类型。该区油气主要聚集在反向正断层上升盘,断裂的主要作用是油气聚集的运移通道和对油气的侧向封堵。研究区沙四段局部物源方向为北东向,各砂层组内的砂体基本沿北东—南西向呈条带状分布,砂体厚度具有北厚南薄的分布趋势。

应用成果

研究区在 1998 年钻探的 WX119 井在沙四 4 砂层组顶部钻遇 10.4m 油层,试油获得日产 40t 的工业油流。利用测井约束反演技术对该区进行精细油藏描述,1999 年开发了王斜 119 断块,动用含油面积 0.5km²,石油地质储量 65 万吨,当年建成 2 万吨生产能力。利用上述反演资料,1999 年在 WX119 井西部设计完钻的 WX122 井钻遇沙四段油层 3 层(厚 5.2m),试油获日产油 14.8t 的工业油流。从而使王斜 119 屋脊含油长度向西延长近 2km,截至目前,已累计采油 95180t,应用效果十分明显。

根据目前钻探的三口探井及十口开发井,断层误差基本为零,有利储层深度误差小于 2m,厚度误差约为 1m,分辨率达到了 5m。

实践证明,相干体技术和测井约束地震反演技术是勘探开发地震的核心技术,采用测井曲线频率结构匹配技术进行储层特征曲线重构,利用特征曲线进行测井约束反演,有力地压制了高速灰质成分对储层预测的干扰,该方法行之有效。通过该方法的应用,王斜 119 地区沙四段的开发,为本地区首次开发沙四段油层树立了典范,也为沙四段油气田的开发提供了技术指导。

参考文献

- [1] 刘雯林. 油气田开发地震技术. 石油工业出版社, 1996
- [2] 李玲,冯许魁. 用地震相干数据体进行断层自动解释. 石油地球物理勘探, 1998, 33(增刊 1)
- [3] 李阳,高喜龙. 多井测井约束地震反演技术在埕岛油田的应用. 中国海上油气(地质), 1998, 12(1): 69~72
- [4] 黄捍东,贺振华,刘洪昌. 测井—构造约束地震资料目标反演. 石油地球物理勘探, 1999, 34(5): 595~600