

储层预测技术在广安地区滚动勘探中的应用

王玉雪 雷雪 侯宇 陈燕辉 吴勇

(四川石油管理局地球物理勘探公司)

王玉雪等.储层预测技术在广安地区滚动勘探中的应用.天然气工业,2007,27(6):6-8.

摘要 川中广安地区属老探区,多年勘探表明该区上三叠统须家河组气藏为构造—岩性复合气藏,储层总体具有低孔低渗、纵横向非均质性强的特点。虽然大面积含气,但钻探成功率却不高,油气勘探长期没有突破,故决定以2004年连片地震资料处理解释为基础,开展滚动勘探。为此,依据高分辨率层序地层学理论,进行地层对比、划分,地震相分析,划分了须四段、须六下亚段沉积相带及有利储层分布。同时,在总结主产层须六、须四段砂岩有效储层的测井、地震响应模式的基础上,利用叠后地震属性分析,选用有针对性的高精度(针对薄互层储层)反演技术,预测了须四段、须六下亚段有效储层的分布规律。为配合滚动勘探进行了8轮叠后储层反演和精细解释。截至2007年4月,利用预测成果所钻的31口井中,10口在须六段、14口在须四段获工业气流,证实了上述方法的有效性,形成了一套须家河组储层预测的配套技术和思路。

关键词 广安地区 晚三叠世 层序地层学 地震勘探 反演 地层评价

广安地区须家河组气藏为面积大、丰度低、形成于前陆盆地的构造—岩性复合气藏,其成藏条件复杂致使储层预测困难。要准确预测该区须家河组储层,首先利用高分辨率层序地层学和岩心分析,识别须家河组内部的地层界面、地震相和沉积层序模式,划分沉积相带,确定主物源方向;在此基础上,运用高分辨率的叠后反演技术结合地震属性分析对有效储层作出预测,并据新钻井、测井资料不断完善;通过8轮反演,由粗到细,逐渐逼近,最终取得了较好的地质效果。

一、沉积相研究

1. 须家河组的地质特征

该区须家河组厚度较稳定,一般在438.5~665 m之间,自下而上划分为六段。其中须一、须三、须五段为湖沼相沉积,主要以黑色泥岩和泥质粉砂岩为主,是主要生油气层及含油气层的直接盖层。须二、须四、须六段主要以浅灰、灰白色细—中—粗粒长石岩屑砂岩、岩屑砂岩为主,是主要的储集层。

由于须家河组遭受压实、胶结等成岩作用改造较为强烈,储层致密化程度高,主产层须六、须四段储层均以低孔低渗—特低孔低渗为主,但纵、横向上局部发育孔渗性较好的储层段。地质测井综合研究确定的有效储层孔隙度下限为6%。储层储集类型

可分为孔隙型与裂缝—孔隙型两类。储层单层厚度最大20余米,最薄仅5 m,纵横向变化显著。

2. 层序地层学研究

总体研究思路是,以地震资料为主,以岩心、测井资料为约束条件,开展高分辨率地震层序地层学研究、岩心—测井—地震综合研究(core-log-seismic integration, CLSI)。综合岩心相分析、测井层序分析、地震构造解释、地震层序和地震相分析成果,建立层序地层模式,研究砂体分布规律,预测有利的储层和圈闭分布。

3. 须家河组的沉积相分析

岩心研究表明,广安地区须二、须四段和须六下亚段主要由厚层—块状砂岩组成,岩相类型有块状砂岩或砾岩、发育槽状交错层理的砂岩、发育平行层理的砂岩等,冲刷面及正粒序频繁,为辫状河道沉积。须一、须三、须五段以及须六上亚段主要由块状或发育水平层理的暗色泥岩,发育砂纹层理的粉砂岩,发育波状、透镜状和脉状层理及变形层理的粉砂岩与泥岩互层沉积,以及薄煤层或煤线等组成,为湖沼相沉积。

地震反射特征表明,广安地区须六、须四、须二段的顶、底界及低水位体系域内部,一般都发育有下凹状反射形态,指示下切河道发育,对应的是透明地震相和层状地震相。前者表现为弱反射,同相轴连

作者简介 王玉雪,女,1969年生,高级工程师;1991年毕业于原西南石油学院地球物理勘探专业;长期从事地震资料处理及解释工作。地址:(610213)四川省成都市双流华阳镇双华大道一段1号。电话:(028)82975301。E-mail:yuxue_w@163.com

续性较差,解释为叠置的辫状河冲积平原相;后者成层性好,同相轴连续,平行或近平行结构,解释为滨湖辫状河冲积平原沉积相。此外,已经证实,部分层状相的成因还与砂岩的物性或含流体性质在纵向上的差异有关,特别是含气砂岩层与非含气砂岩层的交互时,也易形成层状相。

须五、须三段在 seismic 剖面上表现为强振幅、宽相位(低频)、高连续性反射(图 1、2),其底部在被淹没的下凹状河道内表现为双向上超特征,顶部常为上覆层序的底界削蚀,内部一般表现为平行或近平行反射结构。

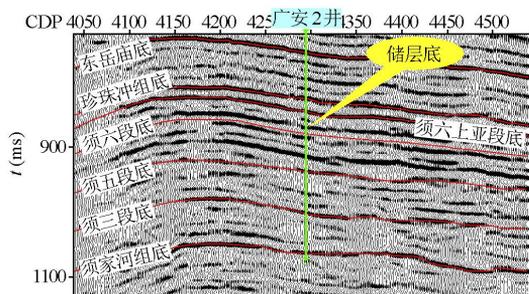


图 1 过广安 2 井叠前时间偏移剖面图

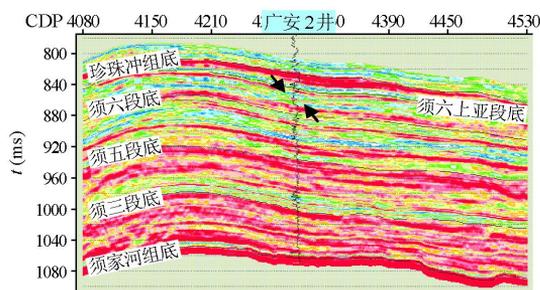


图 2 过广安 2 井波阻抗反演剖面图

综合岩心相、地震反射特征和地震相分析结果认为,须六下亚段、须四、须二段为辫状河冲积平原沉积,须五、须三段为湖沼相沉积。须四段、须六下亚段沉积相分别见图 3、4,红色粗线以西为滨湖辫状河冲积平原,以东为近源辫状河冲积平原,分布趋势与须四段基本相似,表现出较好的继承性,有利储层

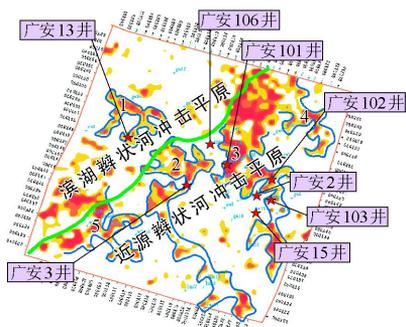


图 3 须四段有利沉积相带及有利储层分布预测图

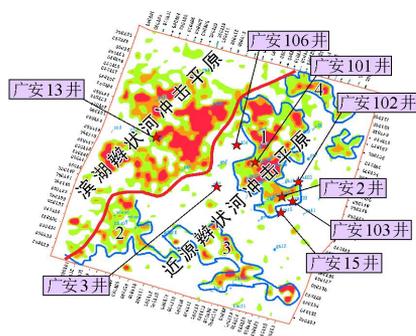


图 4 须六下亚段有利沉积相带及有利储层分布预测图

主要分布于近源辫状河冲积平原,但尚未完全证实。

二、储层预测

储层预测的关键在于方法的针对性,而这是建立在对储层的测井、地质、地震特征精细分析基础上的。2005 年 12 月项目开展时,电测资料较全的有 25 口井,到 2006 年 10 月增加到 52 口,笔者统计分析了各井的测井、地震响应,结果表明孔隙型储层普遍具有低阻、高孔、强振幅特征,可采用波阻抗、孔隙度反演方法定量预测储层;裂缝—孔隙型储层虽然测井响应相对较弱,但可以提取对裂缝敏感的地震属性定性预测裂缝,并结合有利沉积相带有效地预测储层发育区。

1. 波阻抗反演方法的试验优选

笔者试验了基于地震道的稀疏脉冲反演和基于模型的宽带约束反演。结果表明,对于厚储层两种方法效果都不错,但对薄储层及其薄泥岩夹层,稀疏脉冲分辨率明显较低,而且由于二维测线的接点时差和能量差异问题,在测线节点处稀疏脉冲反演阻抗差异也较明显。因此笔者选择了基于模型的宽带约束反演。

基本原理:寻找一个最佳的地球物理模型,使得该模型的响应与观测数据(地震道)的残差在最小二乘意义下达到最小。它是严格意义上的非线性反演,在反演过程中,受地质、测井先验知识的约束。其算法是全局寻优的快速反演算法(模拟退火和宽带约束反演),通过对模型进行反复迭代修正,得到高分辨率的拟声波阻抗模型。由于该方法不但与反演参数、子波有关,还与约束井的数量、分布状况以及地层(或层位)框架模型等有关,故要注意分析反演的多解性。

2. 伽马反演、孔隙度反演

一般来说,孔隙度预测可通过建立与波阻抗的

统计关系来实现。但前面已述及须家河组储层夹在致密的砂岩和页岩中,由于泥岩与部分高孔储层阻抗差异小,阻抗与孔隙度存在两种相反的统计关系。为了有效提高储层阻抗与孔隙度的相关性,有必要先进行伽马反演,剔除泥岩影响。

基本原理:采用神经网络技术和多种统计公式,建立井的波阻抗与自然伽马、孔隙度等测井结果之间的非线性关系。用地震反演的波阻抗作为网络输入,用神经网络实现波阻抗到储层参数之间的非线性映射。

从项目初期的 19 口井电测资料,到结束时 55 口井电测资料,前后经历 8 轮反演,预测结果(见图 5、6)与沉积相、地震相对应较好。

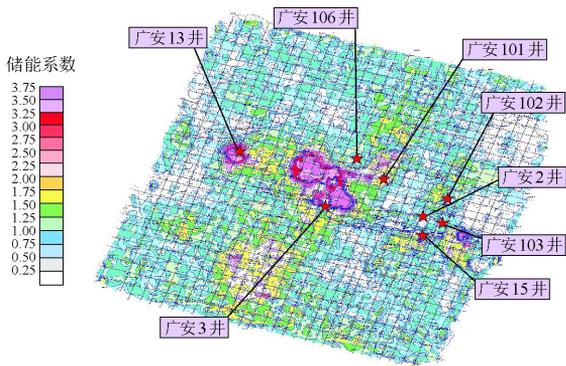


图 5 须四段储能系数预测分布图(第 8 轮)

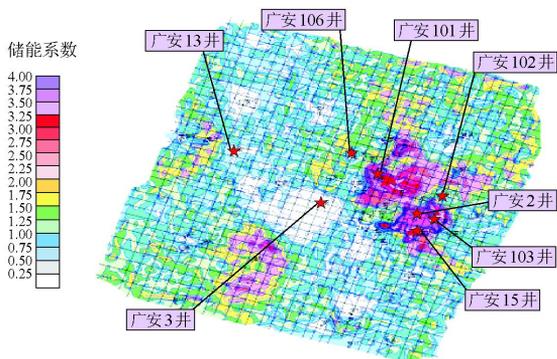


图 6 须六下亚段储能系数预测分布图(第 7 轮)

三、应用效果

(1)根据层序地层系研究,对须四段划分了 5 个有利区带,已钻探的 1、3 区带表明与预测情况相符(见图 3、4);在须六下亚段划分的 4 个有利区带上,位于构造主体的有利区带预测与钻探相符。其余预测有利区带有待证实。

(2)随着钻探井位增多(由初期 19 口增至后期 55 口),预测效果逐步改善,最后一轮区位的储能系数预测图(见图 5、6)与第一轮(见图 7、8)相比,外围

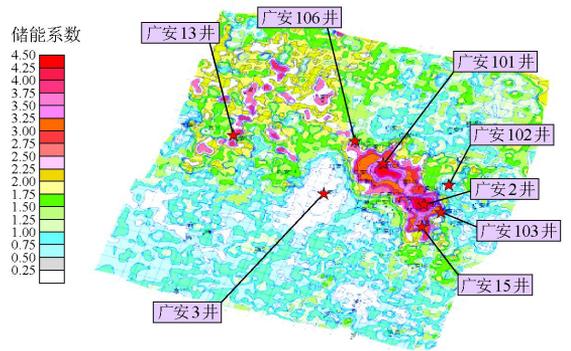


图 7 须四段储能系数预测分布图(第 1 轮)

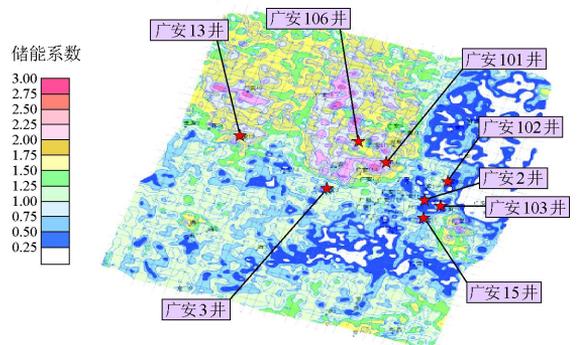


图 8 须六下亚段储能系数预测分布图(第 1 轮)

及某些细节发生了明显变化,在须四段的广安 13—广安 3 井区块中,预测所钻 8 口井中有 7 口获工业气流。

(3)利用叠后反演成果钻探的 31 口井中,有 10 口在须六段、14 口在须四段获工业气流。

四、认识与结论

(1)钻探表明,本次滚动勘探所采用的高分辨率层序地层学研究和叠后反演技术方法,应用于本区预测难度较大、纵横向储层多变的岩性—裂缝油气藏效果较好,明显地提高了勘探成效。

(2)分析表明,验证符合率不一定都随反演所用井数增加而提高,说明叠后反演在本区复杂条件下仍有其局限性。

(3)本区西北部所钻 3 口井均在须四段获气,但预测及钻探表明其储层厚度不大,产气可能主要与裂缝发育有关,故需要用三维数据方能解决裂缝预测问题。

成文中参考了唐必锐等、杨家静等、甘秀娥等、李亚林等、钟广法等内部资料,在此一并致谢!

(收稿日期 2007-05-29 编辑 韩晓渝)