

文章编号: 0253-9985(2001)03-0225-05

胡状集地区地震岩性反演与储层预测*

曹学良¹, 曹延军², 姜传恩³, 刘宏伟¹, 潘一览¹

(1. 中原油田分公司勘探开发科学研究院, 河南濮阳 457001;

2. 中原油田分公司勘探事业部, 河南濮阳 457001; 3. 中原油田分公司钻井综合工程处, 河南濮阳 457001)

摘要: 应用层序地层学和地震岩性反演相结合的方法对东濮凹陷胡状集地区有利的储层发育区进行了预测。依据高分辨率层序地层学原理和岩芯资料, 测井曲线及测井解释结果, 将目的层划分为4个中期旋回和16个短期旋回, 它们分别对应沙河街组三段中亚段2砂组一下亚段3砂组。依据这种对应关系, 通过连井剖面和骨干剖面, 进行三维地震解释, 应用JASON软件系统和波阻抗-合成声波测井法对目的层进行了岩性反演。反演结果认为, 波阻抗最高值和最低值分别在胡99井区和胡98井区, 平均砂岩百分比和平均孔隙度最高值发育在胡99和胡97井区, 其在地震剖面上表现为反射异常体, 推断为水下扇, 是为有利的勘探远景区。

关键词: 地震岩性反演; 储层预测; 层序地层; 东濮凹陷; 胡状集地区

第一作者简介: 曹学良, 男, 36岁, 高级工程师, 油田地质

中图分类号: P539.1

文献标识码: A

胡状集地区位于东濮凹陷西部斜坡带北部, 临近石家集断层。1999年, 钻在该区以往已圈定的油水界面之外的胡99井在沙河街组三段中亚段下部和下亚段上部发现工业油气流, 揭开了这一地区新一轮油气勘探的序幕。但该井上翘和下倾方向油气显示不好, 使人们清楚地认识到该区油气分布的复杂性及储层发育的多变性, 而利用地震资料进行地震岩性反演和储层预测无疑是研究该区油气分布的最佳方法之一。

本区的地震解释和储层预测研究, 主要利用GEOQUEST人机联作解释系统和JASON岩性反演系统来进行。在分析了储层预测的地震地质条件后, 精细制作合成记录, 在地震剖面上准确标定了储层, 在构造解释的基础上, 对地震资料进行了高精度的波阻抗反演和岩性反演。

1 高分辨率层序地层

高分辨率层序地层学可以精细地划分出各种级别的不整合及各种级别的层序^[1,2]。这项研究大致包括如下内容: (1) 利用高频层序进行小层对比, 这可以解决油气藏的地层追踪与油源对比问题; (2) 研究高频层序内各级准层序或准层序组的叠置模式, 进行油气圈闭中目的层的生储盖组合分

析, 较准确地标定含油气层; (3) 准层序单元的岩性、岩相研究, 有助于进行准确地砂层对比, 建立正确的开发方案和作出可行的注水效果分析; (4) 在准层序单元内, 精细的地震速度分析可以为含油气层的异常压力、封堵条件与储集物性特征研究提供准确的原始资料, 一是可对油气藏内地层压力与流体的展布作出较客观的评价, 二是可以预测目的层内储集物性的分布特征^[3]。

1.1 层序划分

依据高分辨率层序地层学原理和岩芯资料、测井曲线特征及测井解释结果^[2,3], 并参考前人的分层资料, 本文将沙河街组中段一下段划分为6个中期旋回, 其中的4个中期旋回可以区域对比分析, 从上到下依次命名为MSC1, MSC2, MSC3, MSC4, 其对应的层位大体相当于沙河街组三段中段2砂组至下段3砂组。这些中期旋回中还包括了数目不等的短期旋回。

1.1.1 第4中期旋回(MSC4)

是一个以基准面下降半旋回为主的进积-退积不对称的中期旋回, 其基准面上升到下降的转换点位于旋回的下部, 即泥岩最厚处。它由SSC1, SSC2, SSC3, SSC4, SSC5等5个短期旋回组成。SSC1位于中期旋回的底部, 岩性主要为砂泥岩互层; SSC2的岩性主要为泥岩, 夹有薄层的粉砂岩; SSC3位于旋回的中部, 顶部和底部为砂岩沉积, 中部沉积了厚层的泥岩, 泥岩的中部为中期

旋回基准面上升到下降的转换点; SSC4 为一个对称的高可容纳空间的短期旋回, 顶部底部为砂岩沉积, 中部沉积了很厚的泥岩; SSC5 为一个只有下降半旋回的短期旋回, 其顶面为 MSC4 的顶面, 砂岩十分发育。

1.1.2 第 3 中期旋回(MSC3)

是一个以基准面上升半旋回为主的进积-退积不对称的中期旋回, 其基准面上升到下降的转换点位于旋回的上部, 即泥岩最厚处。它由 SSC6, SSC7 两个短期旋回组成。SSC6 的岩性主要为粉砂岩与泥岩的互层; SSC7 为一个高可容纳空间的短期旋回, 其顶部和底部为薄层的粉砂岩, 中部为巨厚的泥岩沉积, 泥岩的中部即为此中期旋回的基准面上升到下降的转换点; SSC7 的顶面为此中期旋回的顶面。

1.1.3 第 2 中期旋回(MSC2)

是一个仅有基准面上升半旋回的中期旋回, 它由 SSC8, SSC9, SSC10 三个短期旋回组成。SSC8 的岩性以泥岩为主, 砂岩一般以夹层的形式沉积, 顶部和底部为薄层的粉砂岩, 中部为厚层的泥岩; SSC9 的岩性也以泥岩为主, 中部沉积了厚层的泥岩; SSC10 的顶面为此中期旋回的顶面, 为砂岩沉积。

1.1.4 第 1 中期旋回(MSC1)

是一个进积-退积对称的中期旋回, 其基准面上升到下降的转换点位于旋回的中部, 即泥岩最厚处。它由 SSC11, SSC12, SSC13, SSC14, SSC15, SSC16 等 6 个短期旋回组成。SSC11 是一个上升半旋回为主的短期旋回, 顶部底部为砂泥岩, 中部为很厚的泥岩沉积; SSC12 下部为粉砂岩或泥质粉砂岩, 上部为泥岩, 顶部为薄层粉砂岩; SSC13 是一个典型的高可容纳空间的短期旋回, 对称性好, 中间的泥岩沉积厚度大, 仅顶底沉积一薄层的粉砂岩, 泥岩的中部即为此中期旋回的基准面上升到下降的转换点; SSC14 顶底分别沉积了砂岩和粉砂岩, 中部为泥岩沉积; SSC15 的岩性以砂岩为主, 其基准面下降半旋回以砂泥岩互层为特征; SSC16 岩性以砂岩为主, 中部有少量的泥岩, 其顶面为此中期旋回的顶面, 其上沉积了厚层的砂岩。

胡 99 井的中期旋回从总的岩性变化趋势来看, 由下到上, 基准面的变化特征是, 由以下降为主过渡到上升与下降对称。MSC3 虽然是以基准面上升为主, 但其沉积厚度小。此变化特征反映了一个总体基准面上升的趋势, 或者说, 可以说是一个湖进的过程。

1.2 层序对比

地震资料的精细层位和构造解释是储层反演的基础。在三级或三级以上层序研究中, 地震资料解释是最方便也是最有效的方法之一^[4]。一方面由于地震反射同相轴本身所具有的等时性, 使地震反射同相轴的结构特征直接反映了层序内部各个界面(等时面)的结构形态; 另一方面, 地震剖面在二维及三维空间上的连续性, 又给在二维或三维空间上连续圈定和追踪这些不规则分布的层序界面提供了最便利的资料。根据标准的层序内部结构, Brink 等人^[5]总结了沉积层序内部各个体系域及层序顶底面不整合处的地震反射结构特征, 它们基本上反映了层序内部的层面结构特征——等时面形态特征。这套地震反射结构模式, 已成为在地震资料中进行层序地层学研究的基本模式图。在胡状集地区的地震层序地层学研究中, 采用 Brink^[5]的地震层序地层分析模式, 并结合地震层序和地震-岩相分析资料, 确定地震层序地层单元, 划分出 4 个 4 级层序, 且与 4 个中期旋回对应。

利用钻井资料制作的钻井合成地震记录表明, 地震资料的高分辨率层序地层解释结果与地质层位有很好的相位对应关系; 为了准确地追踪层位, 从井出发, 建立了若干连井剖面 and 相位稳定、反射连续的骨干剖面, 从骨干剖面出发, 利用地震剖面闭合的原理, 逐条剖面解释, 并用联络线闭合, 连井剖面验证, 保证各个砂层组界面的准确性。在构造解释前, 对工区进行了三维地震资料的水平切片, 通过对一系列不同深度的水平切片研究, 发现工区内发育了 3 条主要断层, 即石家集断层、长垣断层和胡 2 断层, 这就为我们在地震剖面上解释断层奠定了基础。

2 地震岩性反演

近 20 年来, 地震反演技术有了很大发展, 其中尤以测井约束反演方法和以模型为基础的反演方法应用最为普遍, 本文主要采用以钻井资料为基础的测井约束反演。反射地震数据的测井约束反演包括测井约束下的反射系数序列反演和波阻抗反演两类, 二者在实现过程中都采用了从井旁道出发逐道逐次进行线性化反演, 即前一道反演的结果作为下一道反演的初始值的运作方法^[6]。

2.1 反演流程

目前看来, 虽然 JASON 软件系统在反演处理

中明显存在操作程序复杂等问题,但它仍是功能比较齐全、地质思维较完备的一套地震反演软件系统。JASON 软件进行储层反演的流程框图见图 1,我们主要使用的是波阻抗-合成声波测井法。

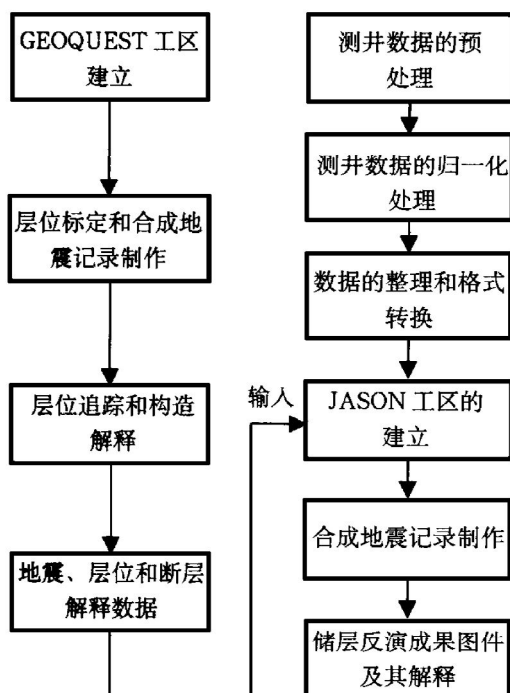


图 1 储层反演流程图

Fig. 1 Flow chart of reservoir inversion

在 JASON 地震岩性反演之前,必须要收集尽可能多的测井数据,比如孔隙度、渗透率、砂泥岩百分比、声波、密度、自然伽马和自然电位等数据,搜集的数据越多反演出的结果越能反映储层的特性。收集之后,还必须对数据进行一系列的预处理,才能加入到工区数据中。这些是非常重要的,也常常被用户忽略,它直接影响着反演结果的准确性。

JASON 反演主要应用钻井中的如下几种测井数据:

- (1) 指示地层速度,进而可以由速度对应到岩性组成的数据——声波测井数据,它是最重要的数据,如果没有,也可用自然电位曲线近似代替。
- (2) 指示泥质含量的测井数据——自然伽马数据,也可用自然电位曲线近似代替。
- (3) 指示孔隙度的测井数据。
- (4) 指示渗透率的测井数据。
- (5) 指示含水饱和度的测井数据。

要注意的是,除(1)和(2)两项是原始的测井资料外,(3)、(4)和(5)都是利用某些测井资料数字处理的结果,它们之间常常有一定的相关性,使用之中必须谨慎。

在完成基本数据收集和整理之后,便可对工区进行地震岩性反演和储层预测。在反演过程中一定要认真仔细作好每一步,如发现问题要立即停止,及时解决,然后再继续进行反演,否则,将会得出错误的结果。

作好骨干剖面的对比分析是提高岩性反演和储层预测精度的基础工作,而在地震岩性反演的众多参数中,波阻抗数据又是最重要的参数,其它各种资料,如孔隙度、砂岩百分比等都或多或少地依赖于波阻抗资料的准确性。

2.2 反演结果

在 JASON 反演系统中,可以利用波阻抗资料反演计算地震反射资料的层速度,依据地震反射的结构特征,JASON 可分别计算出最大层速度、最小层速度和平均层速度。在此基础上,可以使用不同种类的层速度资料依次反演出工区的孔隙度、渗透率和砂泥岩百分比等 3 个最基本的岩性指标,实际上它也是油气储层的基本指标。在目前的测井技术水平下,我们认为孔隙度和砂岩百分比资料的可靠性较高。

2.2.1 波阻抗特征

沙河街组三段下段 4 砂组 (简称 S_{3x4} , 下同) 层段的平均波阻抗最高值在胡 99 井区,约为 $1.106\ 04 \times 10^7\ \text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$,最低值在胡 98 井区,约为 $1.035\ 81 \times 10^7\ \text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$ (图 2),依据对各井波阻抗与孔隙度的统计学大致可以认为,波阻抗高值区为砂岩发育区,低值区为泥岩发育区。据此可以认为在胡 99 井区砂岩含量比较高,在胡 98 井区砂岩含量比较低。

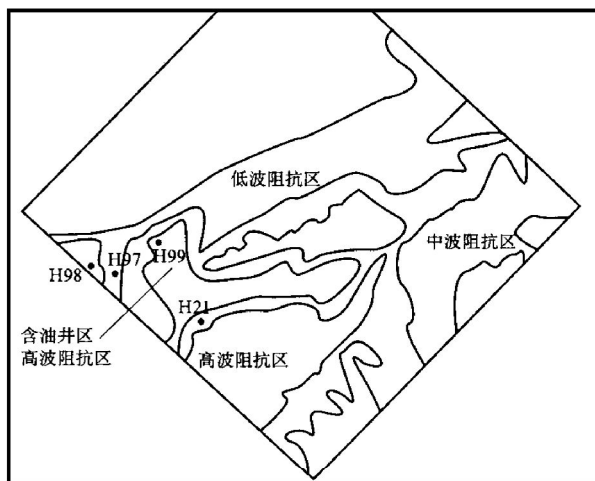


图 2 S_{3x4} 平均波阻抗反演平面图

Fig. 2 Plan of average wave impedance reversion of S_{3x4}

2.2.2 孔隙度特征

S_{3x4} 层段的平均砂岩百分比和平均孔隙度最高值都发育在胡 99 井区和胡 97 井区 (胡 97 井和胡 99 井在该层都产油) 及其以东一带, 分别约为 24% 和 3.2% 左右; 平均孔隙度最低值在胡 46 和胡 21 井区, 约为 1.2% 左右 (图 3), 石家集断层下降盘有一个面积较大的高孔隙度区, 其平均孔隙度大约在 3% 左右 (图 3), 与目前发现的产油井 (胡 97 井和 99 井) 具有相同的孔隙度, 我们认为它是很好的潜在油气储集层。

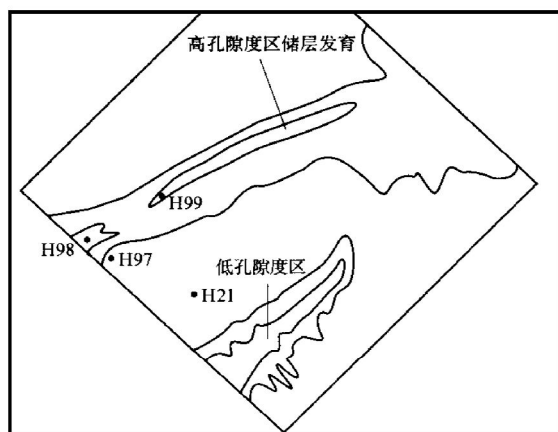


图 3 S_{3x4} 平均孔隙度反演平面图

Fig. 3 Plan of average porosity inversion of S_{3x4}

2.2.3 砂体预测

图 4 显示了上述低波阻抗、高砂岩百分比、高孔隙度异常区内的一条主测线——InLine1456 测线

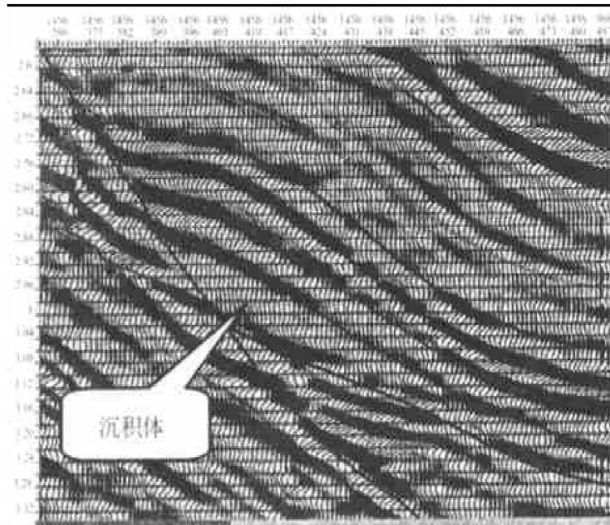


图 4 S_{3x4} InLine1456 测线剖面图

Fig. 4 Profile of S_{3x4} InLine 1456 measure line

的时间剖面 and 波阻抗反演剖面, 其中在石家集断层上盘可清晰地看到一个地震反射异常体, 根据胡 99-1 和胡 2-7 等井沙河街组三段下段岩芯的观察, 可以推断这个外形清晰、内部空白的反射异常体是一个水下扇沉积体。勘探实践证明, 在这个深凹中, 任何砂岩发育区都具有极高勘探价值, 该区为一个很有利的勘探区块。

3 结论

(1) 三维地震资料的高分辨率层序地层解释可以将沙河街组三段中、下段分成 4 个 4 级层序, 在此基础上, 油田开发的各个砂组则可与这些 4 级层序中的准层序相对应。

(2) 精细的资料处理和正确的地质模式是 JASON 软件地震岩性反演的品质保证。

(3) 应用 JASON 软件在东濮凹陷胡状集地区预测了一个有利的含油气区带, 该区带为高孔隙度、高砂泥岩百分比和低层速度异常区, 在地震剖面上可看到该低速区带为一系列的反射异常体——水下扇沉积体组成, 它表明了一个很有利的油气勘探远景区。

参 考 文 献

- 1 徐怀大, 王世风, 陈开远. 地震地层学解释基础[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- 2 陈开远, 刘学峰, 杜宁平, 等. 新港地区沙三段三维地震层序地层特征, 地球科学, 2000, 25(3): 267~ 272
- 3 陈开远, 孙爱霞, 杜宁平, 等. 成油体系中的层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 221~ 226
- 4 Ainsworth R B, Sanlung M, Duivenvoorden T C. Correlation techniques, performance strategies, and recovery factors: an integrated 3-D reservoir modeling study, Sirikit Field, Thailand[J]. AAPG Bull., 1999, 83(10): 1535~ 1551
- 5 Brink G J, Keenan J H G, Brown L F. Deposition of fourth-order, post-rift sequences and sequence sets, lower Cretaceous (lower Valanginian to lower Aptian), Pletmos Basin, southern offshore, South Africa[A]. In: Weimer P, Posamentier H. siliciclastic sequence stratigraphy—recent developments and applications[C]. AAPG Memoir, 1995, 58: 43~ 69
- 6 黄捍东, 贺振华, 刘洪昌. 测井-构造约束地震资料目标反演[J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(5): 395~ 600

SEISMIC LITHOLOGIC INVERSION AND RESERVOIR PREDICTION OF HUZHUANGJI REGION

Cao Xueliang¹ Cao Yanjun² Jiang Chuan'en³ Liu Hongwei¹ Pan Yilan¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang, Henan;

2. Department of Exploration Affairs, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang, Henan;

3. Department of Drilling Engineering, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang, Henan)

Abstract: Sequence stratigraphy and seismic lithologic inversion were used to predict favourable reservoir developed area in Huzhuangji Region, Dongpu Depression. According to high resolution sequence stratigraphic principle, rock cores, log curves and the results of log interpretation, the sediments in the study area could be divided into 4 medium-term cycles and 16 short-term cycles which correspond to the second~ third sand groups of the middle submember and the third sand group of the lower submember of Sha-3 member. Then 3-D seismic interpretation was made and 3 fractures were found. JASON software and wave impedance-synthetic acoustic impedance log were used to make seismic lithologic inversion on the favorable reservoirs. The results indicate that the maximum value and the minimum value are in Hu-99 Well district and Hu-98 Well district respectively; the highest values of average sandstone percentage and average porosity are also in Hu-99 Well district. Seismic profile also showed abnormal seismic reflectance. This suggests that it may be a subaqueous fan which is favourable for oil exploration.

Key words: Seismic lithologic inversion; reservoir prediction; sequence stratigraphy; Dongpu Depression; Huzhuangji Region

(上接第 224 页)

METHOD OF IMPROVING RECOVERY RATIO FOR NO ENERGY COMPLEMENT WELLS IN SOUTH YELLOW RIVER REGION

Li Jiqiang¹ Yang Chenglin¹ Xu Chun'eh¹ Ren Ganneng² Tu Xingwan¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang, Henan;

2. Department of geological Well Log, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang, Henan)

Abstract: The oilfield in South Yellow River Region is composed of complicated small fault-block reservoirs. There is no energy complement during oil field exploration, oil recovery result is very poor. Single well waterflood swallowing-spitting method could complement the formation energy, restore formation pressure and improve recovery efficiency. The single well waterflood swallowing-spilling should be carried out by stages, each stage could be divided into waterflood-ing, closing-in and oil-recovery substages. The restoration of formation pressure is closely related to the amount and rate of water injection. The closing-in of wells is to make the water injected replacing oil. The wettability and permeability of the reservoir are the main factors effecting the waterflood swallowing-spitting. The high wettability index of the reservoir determines it strong wettability, strong oil expulsion and high recovery rate; its high permeability means shorter water-injection time and higher oil recovery velocity. This method is now used in Ma 11-108 Well, the result is evidence.

Key words: single well waterflood swallowing-spitting; water injection; closing in; recovery; no energy complement well; recovery ratio