

陆东凹陷交南构造九佛堂组下段储层预测

陈恭洋 李龙滢 钟宝荣 王泽中 周丽娟

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

李真济 廖兴明

(辽河石油勘探局, 辽宁盘锦 124010)

根据陆东凹陷交南构造上侏罗统九佛堂组下段的地质条件、储层分布及地震反射特征, 提出以组段为单元, 通过速度谱资料处理, 建立大层段沉积分布模式的储层预测; 以砂组为单元, 通过地震资料特殊处理的储层综合预测和以井间分形理论与地质统计学方法相结合的单层砂体预测等针对性预测方法, 预测了储层及其分布范围, 认为在构造高部位油藏受构造控制, 而在倾没端明显受砂体控制, 具有岩性-构造油藏的特点。交2、交12、交15井区块的北端及交2、交15井区块的西南端, 砂体较厚、物性较好, 属可能含油区, 具有圈闭油气的条件。

关键词 陆东凹陷 交南构造 九佛堂组 储层预测 含油性预测

第一作者简介 陈恭洋 男 32岁 讲师 油气地质与勘探

陆东凹陷为开鲁盆地陆家堡坳陷的北东部分, 交南构造处于陆东凹陷交力格洼陷的东南侧。1991年7月24日至1991年10月19日首钻交2井获得工业油流, 打开了陆东凹陷勘探新局面, 证实了该凹陷良好的勘探前景。

1 储层及地震反射特征

1.1 储层特征

区内含油储层主要分布于九佛堂组下段, 其次为沙海组。九佛堂组下段以凝灰质砂泥岩互层为特点, 为一套高电阻率和高速度地层, 顶部发育一套正常砂、泥岩地层, 构成本区主力储油层段。沙海组总体为一套半深湖泥岩夹砂岩沉积, 具有一定的储集条件, 以低阻低速明显区别于下伏九佛堂组。

1.2 地震反射特征

综合七口探井的录井、测井资料, 通过人工合成记录的制作与对比, 按地震反射特征归类, 本区有四种岩性组合反射类型。

1.2.1 孤立薄砂层强反射

此类反射在沙海组和九佛堂组上段中普遍可见, 为大套泥岩或油页岩背景下的薄砂层反射。其反射能量强, 砂层对应强反射的前 $1/4$ 周期。

1.2.2 厚砂层低频强反射

厚砂层具有较宽的强反射特征 (正极性), 反射能量低于前述孤立薄层反射。

1.2.3 砂泥岩交互层弱反射

此类反射始于九佛堂组下段顶部砂岩发育段, 一直延伸至九佛堂组下段下部, 是该区的砂岩集中段, 反射能量大大减弱, 主要由低的反射系数决定。

1.2.4 泥岩、油页岩和玄武岩负极性反射

九佛堂组下段从上到下划分为 I、II、III 三个砂组。I 砂组由比较集中的薄砂层组成, 剖面上对应一个连续的强反射的后 $1/2$ 周期, 全区可以追踪对比。II、III 砂组为一连续的砂岩集中段, 夹薄层泥岩, 剖面上不易将 II、III 砂组区分开, 对应两个较弱的相位, 横向变化不稳定, 剖面形态为下倾尖灭体, 交 2 井区厚度较小, 延伸距离短, 交 12、15 井区厚度大, 延伸距离长。凝灰质砂岩交 2 井区剖面上有明显的显示, 亦呈下倾尖灭体, 直插入湖。

2 储层层次预测

2.1 以组、段为单元的储层预测——建立大层段的沉积分布模式

本次研究主要通过速度谱资料的解释, 实现了地层分组、段的速度-岩性及速度-物性转换, 求取砂岩百分比及孔隙度值, 并结合单井微相分析成果, 确定砂体及物性分布趋势, 其基本依据是砂、泥岩层速度的差异。

2.1.1 砂、泥岩压实规律及砂岩百分比量版的制作

通过对 7 口井声波测井曲线砂、泥岩数据的提取, 综合制作了全区砂、泥岩解释图版 (图 1)。图中反映了砂泥岩的总体压实规律, 由浅到深明显地可分为两个正常压实带和一个欠压实带, 且砂泥岩压实规律基本一致, 速度差异较大, 砂岩速度明显高于泥岩速度, 为本区地震储层预测奠定了良好的地质基础。同时考虑到消除欠压实所产生的速度偏移, 在计算中, 用一元多次拟合求取纯砂泥岩的速度-深度函数。

2.1.2 速度谱解释及计算

按 50 m 间距共解释了 157 张速度谱资料, 由 Dix 公式^[1]求取速度参数, 并通过砂泥岩速度量版计算砂岩百分含量。从计算结果来看, 7 个井旁速度谱解释结果与测井资料对比相对误差 $1.07\% \sim 16.6\%$, 平均 7.78% , 符合行业标准 (10%)。

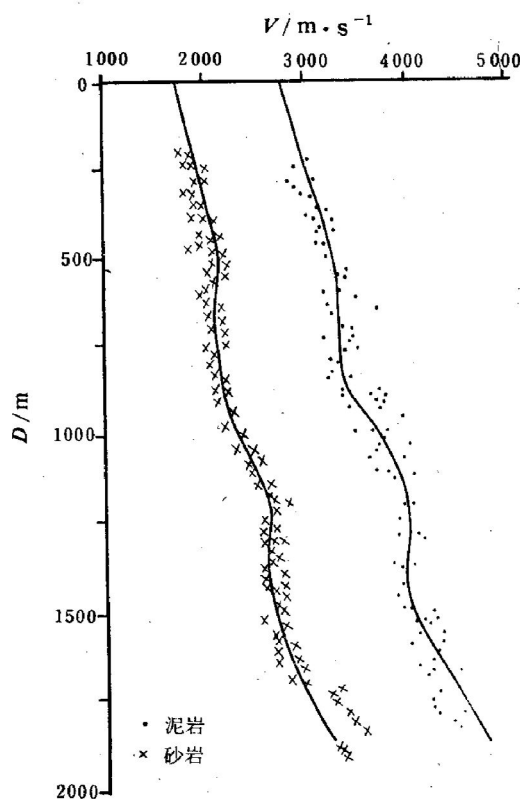


图1 砂、泥岩速度量版

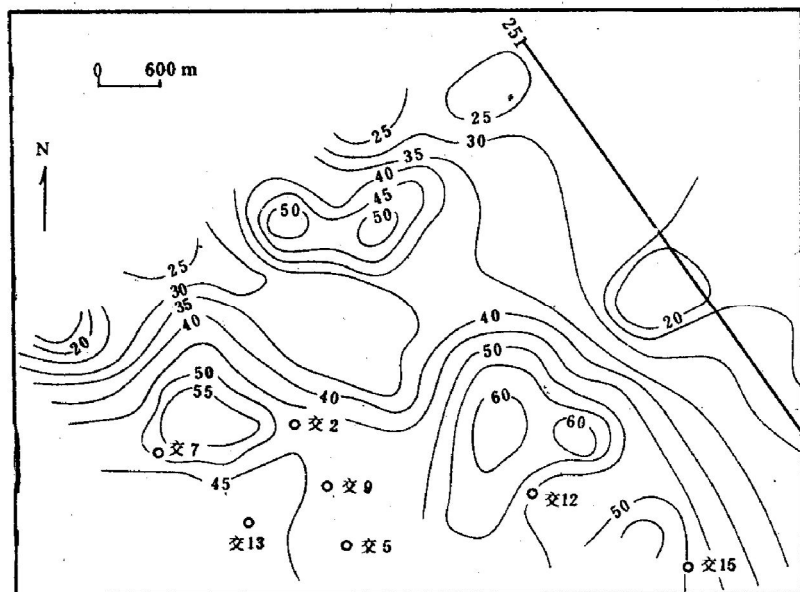


图2 九佛堂组下段砂岩百分比等值线图

交 15 向北东向延伸。交 2 块油藏主体处于交 7、交 5 两扇体之间。

2.2 以砂组为单元的储层综合预测

依据 I、II、III 砂组的不同反射特征及储层标定结果, 采取了不同的预测方法。

2.2.1 利用振幅响应对 I 砂组储层预测

I 砂组由大套较纯油页岩背景下的薄砂层组成, 单层厚度最小 0.5 m, 最大 6.0 m, 一般小于 5 m, 累计厚度 10~35 m 之间。

预测中在地震剖面上 I 砂组对应的相位开出了 60 ms 的时窗, 提取了均方根振幅、平均绝对值振幅、平均波峰振幅及平均波谷振幅 4 项参数, 将钻井统计的 I 砂组厚度与井旁地震道的振幅参数进行统计比较发现, 平均绝对值振幅与砂层组的厚度有较明显的相关性, 经线性回归得到如下方程:

$$H = 0.109\ 058 \times V_{amp} - 11.2729$$

$$\text{相关系数 } R = 0.80$$

式中 H 为砂岩厚度 (m), V_{amp} 为平均绝对振幅值。

由此相关关系即可将 I 砂组平均绝对振幅平面等值线图转换为砂岩等厚图 (图 3)。图中反映, I 砂组砂体

2.1.3 砂岩含量的横向变化规律

通过各层段的砂岩百分比平面分布, 可以看出沉积体系的展布特征: (1) 九佛堂组下段砂岩含量总体南高北低, 两个砂岩百分比高值带, 揭示了两个近岸水下扇的平面展布特征和规模。一个沿交 7 向北西方向延伸, 另一个沿交 15、交 12 向北西伸展入湖心 (图 2)。交 2 块油藏主体位于第一个扇体的右翼。(2) 九佛堂组上段砂岩百分比含量大大降低, 平均 25% 左右, 高低差值相对不大, 最大达 31% 左右, 最小 21% 左右。两个水下扇体, 一是南东向物源, 沿 251 测线贯穿工区; 二是南西向物源, 分别沿交 7、交 5、

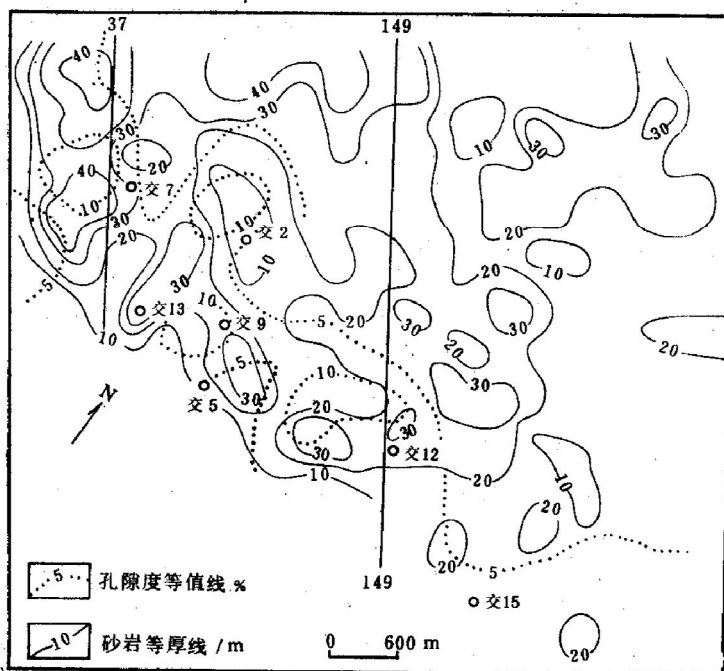


图3 I 砂组砂岩厚度和孔隙度等值线图

主要发育于西南部,有两个主要物源,一是交7井西南侧;二是交9~交12井南侧,呈分多支水道进入交南构造,主体部位砂岩厚度较薄,厚度变化较小,交7、交2、交12井一带为主要有利发育区,砂层最厚可达30 m。该砂组的孔隙度分布由后述方法获得。

2.2.2 利用速度反演对Ⅰ、Ⅲ砂组储层预测

合成声速测井是利用地震资料向测井资料转换的反演技术^[2]。处理过程中,速度-岩性转换仍然依据量版曲线(图1),将剖面上的砂体形态勾划出来,速度-孔隙度转换则依据扩展的Willy公式(时间平均公式),并经泥质含量和油气校正^[3]获得。

处理结果,高速层与砂岩集中段相对应,各砂体在剖面中是断续的,呈透镜状或楔状分布,符合水下扇砂体的几何形态特征(图4)。

依据高速层横向追踪,利用平均时深曲线及测井资料标定,将时间域的高速反射体转到深度域中,经平面组合得到砂岩厚度等值线图。计算每个时窗内采样点的孔隙度值平均后转至平面,即可得到孔隙度平面等值线图(图5a, b)。

2.2.3 砂体分布特征

Ⅲ砂组水下扇体由两个方向的物源形成,一个来自西南方向,扇体主体部位位于交13井附近,砂体厚约14 m,扇体形态对称,延伸较短,在

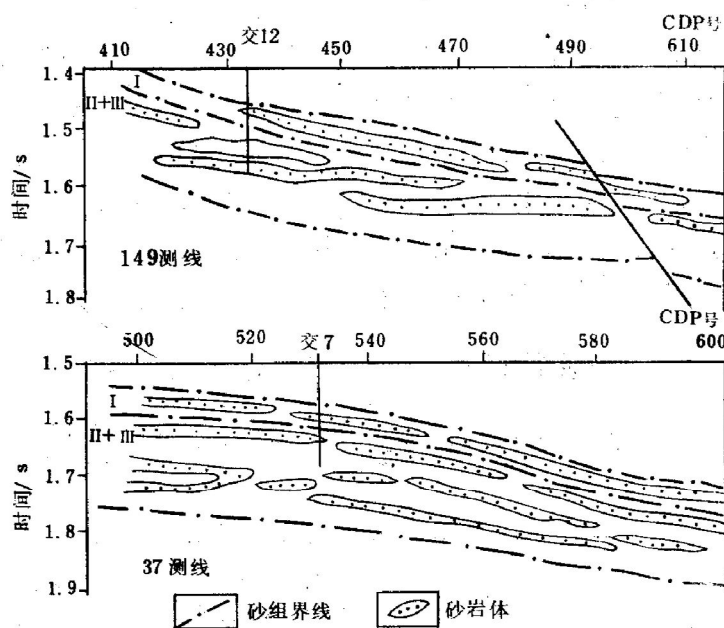


图4 37、149测线V-log解释剖面图

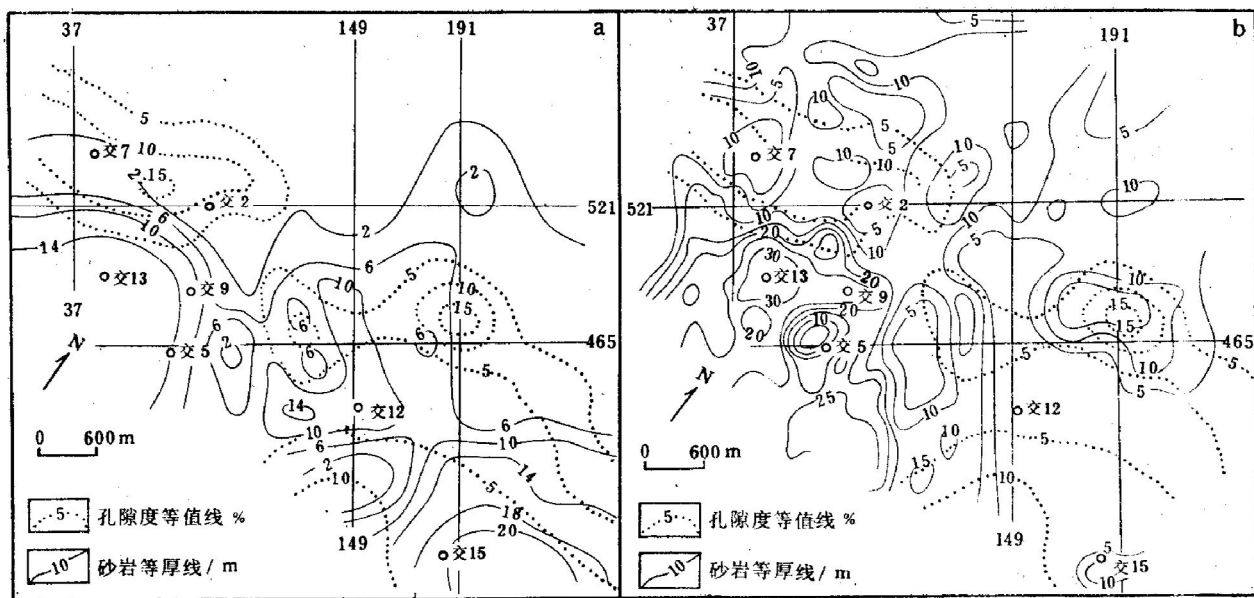


图5 Ⅰ、Ⅲ砂组砂岩厚度与孔隙度等值线图

a—Ⅲ₁+Ⅲ₃小层, b—Ⅰ砂组+Ⅲ₁小层

交2井以南尖灭；另一方向的水下扇体位于交15、交12井一线，延北西-南东向展布，延伸较远，规模较大，交15井附近砂岩厚达20 m（图5a）。

Ⅱ砂组水下扇的发育规模明显较Ⅲ砂组大，其物源主要在正南，水下扇主体位于交13、交9井一线，呈南北走向，砂岩厚达30 m（图5b）。

2.2.4 孔隙度变化规律

I砂组平均孔隙度在平面上呈扇状展布，沿交7、交2、交12井一线，呈弧形分布有三个高孔隙区带，其孔隙度最高均为12%（图3）。

Ⅱ+Ⅲ砂组平均孔隙度在平面上很明显地存在两个高值区。第一高值区位于交2井以西至交7井之间，孔隙度最高达14%，大致沿521测线，呈北东-南西向分布；第二个高值区位于191测线与465测线交汇处，孔隙度高达16%，呈朵状。结合砂体展布特征分析，两个孔隙度高值区均处于扇体的外缘叶状体及外扇内缘，与相带划分有很好的-一致性（图5a, b）。

综上所述，沉积相带的展布特征明显地控制了储层孔隙的分布，I、Ⅱ、Ⅲ砂组孔隙度高值区均处于中扇外缘叶状体及外扇内缘部位，中扇内缘沟道沉积砂体虽然较发育，但由于分选较差，大小混杂，其储层孔隙度较差，且非均质性严重。

2.3 单层砂体预测——井间分形地质统计条件模拟

为了能弄清小至1m左右的薄砂体在井间剖面与区块平面上的厚度变化、尖灭等特征，不少研究者做了大量的研究^[4,5,6]。在前人工作的基础上，我们经研究与实验后认为，分形理论与地质统计学方法的结合是一种新的途径，它能用较少的单井数据进行井间空间关系的条件模拟，提供更多的地质信息。

具体实施分为I砂组和Ⅱ+Ⅲ砂组两个层段进行模拟，共模拟了五个井对，并提取相应小层厚度数据平面成图，结果为后续油田的开发提供了重要的地质依据（图6）。

2.3.1 连通关系

各井之间的同一层虽具有时间上的对应关系，但连通情况却不能用对应关系来表示，即等时沉积的各砂体可能属于不同扇体，它们之间不具连通性。

2.3.1 连通关系

2.3.2 尖灭点位置

砂体的尖灭线并不是我们以往靠经验从井外推，位于两井的中点线上，模拟的尖灭线位置由砂体的宽厚比确定，并能量化。

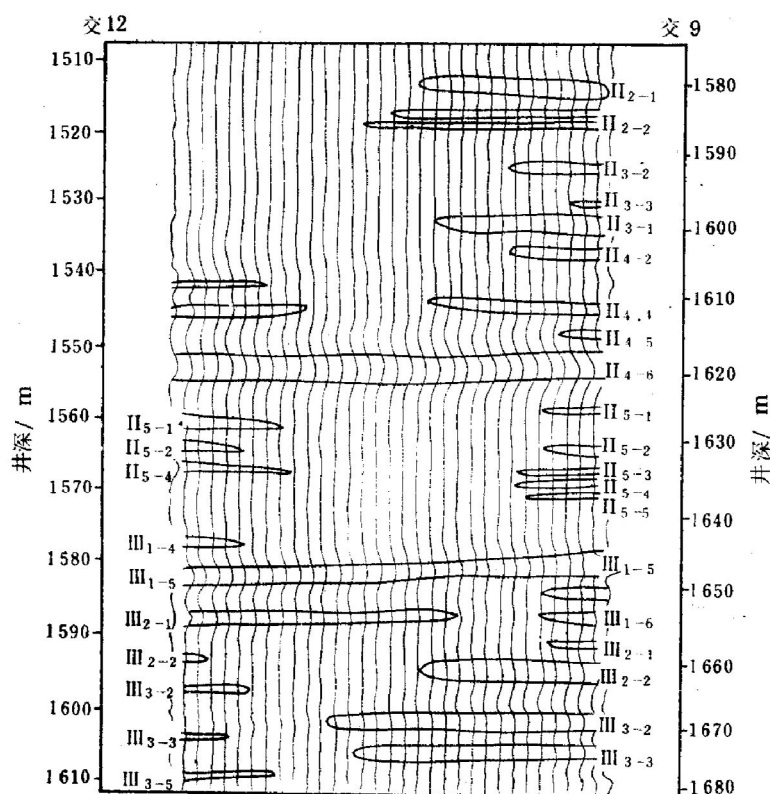


图6 井间分形地质统计条件模拟结果实例（SP曲线）

2.3.3 厚度定量化

两井之间的厚度变化能定量描述,其厚度变化规律不是线性的。

2.3.4 油水关系

模拟较好地解决了同一小层之间的油、水、干关系。如交9井与交12井之间的Ⅱ₅₋₂小层是对应的,但交9井Ⅱ₅₋₂小层为油层,而交12井Ⅱ₅₋₂小层为干层,通过模拟结果发现,由油层变为干层的原因是因为它们属两个扇体,相互之间不连通。

3 储层含油性预测及评价

主要依据有监督学习的神经网络(BP算法)^[7],利用过井地震叠偏记录实施网络的学习,由出油井和空井与相邻地震道构成训练集,对全区地震剖面进行油气识别,圈定判释含油范围。

本次研究主要提取了包括振幅、频率及自相关函数等二十多项特征量来预测含油性的变化,同时,为保证提取的特征量能正确反映地层特征,挑选了14条品质较好的地震剖面,通过7口已试油井详细的含油气层位标定,沿九佛堂组Ⅰ砂组和Ⅱ+Ⅲ砂组对应相位开出两个80 ms的似矩形时窗,分别作含油性预测时窗(图7)。结果除少数外,多数测线的含油性在构造高部位较均匀,显示出受构造控制的油气藏特征,而在构造倾没端,含油边界不规则,与

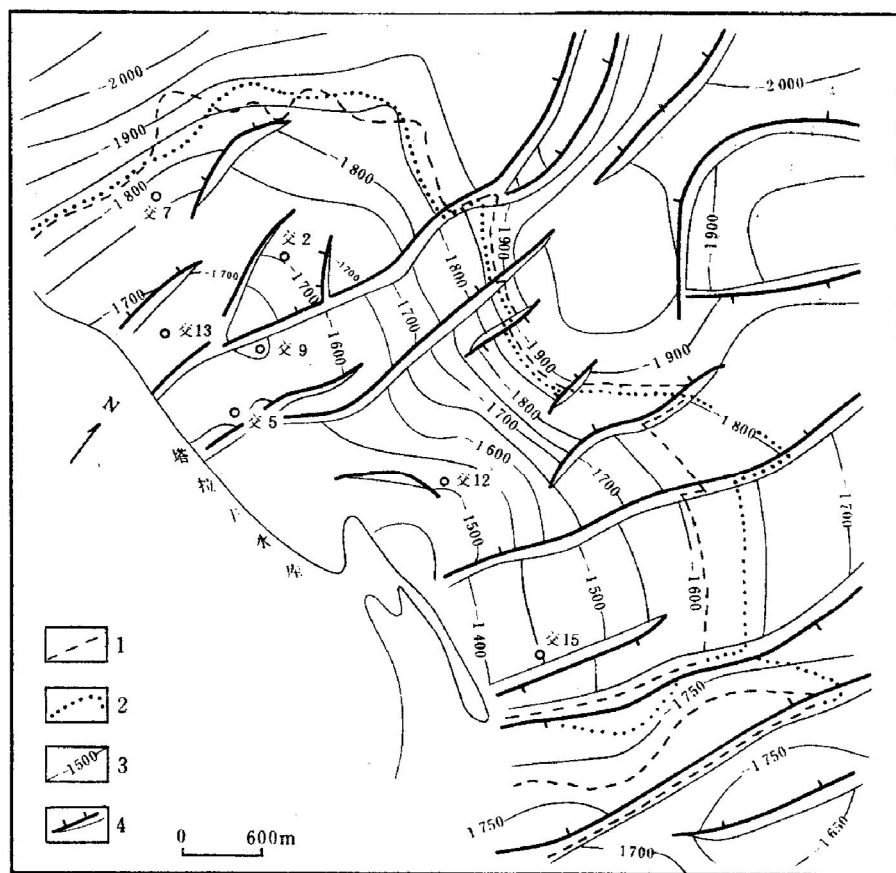


图7 九佛堂组下段含油性预测图

1—Ⅰ砂组预测含油边界, 2—Ⅱ+Ⅲ砂组预测含油边界, 3—构造等深线, 4—断层

构造线无明显关系,含油下边界明显受控于砂体的分布,显示了岩性构造油藏的特点。

3.1 交2、交12及交15井区块的北端

上述部位属中扇外缘沉积,物性较好,且砂岩较厚,I、II、III砂组的砂岩总厚度均在50~60 m之间,在构造上位于交南构造的倾没端和翼端,具有圈闭油气的条件。从含油性预测结果分析,上述三个区带均属可能含油区。如果获得成功,则可进一步扩大交南断鼻的含油区域。

3.2 交2、交15井区块的西南端

上述区域位于交南水下扇中扇内缘,物性虽不及中扇外缘叶状体,但砂岩总厚度较大,达50~60 m,且据含油性预测结果,亦属可能含油区,在该处进行斜井钻探既可搞清交南构造西南端的构造形态,又可扩大含油范围。

参 考 文 献

- 1 陆基孟.地震勘探原理.北京:石油工业出版社,1982.235~247
- 2 黄绪德.反褶积与地震道反演.北京:石油工业出版社,1992.154~169
- 3 刘泽荣,信基麟.油藏描述原理与方法技术.北京:石油工业出版社,1993.91~94
- 4 杨安平.用二口或三口井资料的地质统计内插方法.见:第四次国际石油工程会议论文集(三).北京:石油工业出版社,1992.1~16
- 5 温道明,裴恽楠.储层非均质性量化与储层参数的定量预测.见:第四次国际石油工程会议论文集(三).北京:石油工业出版社,1992.1~10
- 6 Tang R W, Behrens R A. Reservoir studies with geostatistics to forecast performance. SPE Reservoir Engineering, 1991. 253~258
- 7 焦李成.神经网络系统理论.西安:西安电子科技大学出版社,1992.34~36

RESERVOIR PREDICTION OF LOWER MEMBER OF JIUFUTANG FORMATION IN JIAONAN STRUCTURE, LUDONG DEPRESSION

Chen Gongyang Li Longyan Zhong Baorong

Wang Zezhong Zhou Lijuan

(Jiangnan Petroleum Institute, Jingsha, Hubei)

Li Zhenji Liao Xingming

(Liaohe Petroleum Prospecting Bureau, Panjin, Liaoning)

Abstract

Based on the geological condition, reservoir rock distribution and seismic reflection characteristics of the lower member of the Jiufutang Formation, Upper Jurassic in Jiaonan Structure, Ludong Depression, it is proposed to take the lower member of the formation as the unit to make reservoir prediction of large section sedimentary model by velocity spectrum processing; to take sandstone set as the unit to make comprehensive reservoir prediction by seismic data processing; to take interwell fractal analysis as theoretical basis and combine it with geostatistics to make individual sandbody predicting. The above mentioned prediction methods were adopted to predict hydrocarbon reservoirs and their distribution. It is considered that oil pools in the higher part of the structure are controlled by the structure but that in the raking side possess the property of lithologic-structural pools. The sandbodies in the north side of Jiao-2, Jiao-12, Jiao-15 well-blocks and the southwest side of Jiao-2, Jiao-15 well-blocks are rather thick and have favourable physical features and hydrocarbon trapping condition.