

荆丘构造的地震地质解释

沙 锡 鉴

摘 要

荆丘构造在地震工作和钻井见油之后,又把地震测网加密到1(公里)×1(公里),对地震资料做了比较细致的处理,并仔细地研究了地震波的振幅、频率及速度信息和地质信息的关系。研究表明,指示油气存在的是“暗点”、“低频”、“低速”等特征。这种关系经过了模型正演的验证。

提供了三口评价井,口口见油,使得原解释的荆丘构造的含油面积由1平方公里扩大到6平方公里。

ABSTRACT

After a seismic reconnaissance done and oil discovered on Jingqiu anticline, a denser line grid of 1km×1km was shot in this area. Then a refined data processing was done, and the relations between the amplitude, frequency, velocity and formation are analysed in detail. We find that the existence of hydrocarbon is indicated by "dim spots", low frequency and low velocity. The reliability of the prediction was confirmed by forward model technique.

The three assessment wells positioned by seismic interpretation all produce oil, the oil-bearing area of this anticline being expanded from 1 km² to 6 km².

前 言

1982年在束鹿凹陷荆丘构造的解释工作中,将一个面积只有1个多平方公里的构造重新落实为6个平方公里。获得这样的成果的关键在于充分利用第一口钻井资料进行地震地层分析,根据地震剖面上的平点振幅异常,结合构造条件,提供了三口评价井,钻探结果全部见油,从而确定了油气田范围。

为了配合精细的地震地层解释,要有较密的数字地震测网和精细的资料处理,这样才能得到较精确的反射系数、才能编绘振幅及振幅比平面图、峰值频率及低频带宽能量百分比图、层速度平面图、综合分析图,便于预测有利油气地带。实践结果证实,应用

这种方法的结果与实际钻探对比,效果很好,我们认为在类似荆丘地区这样特定的地震地质条件下,这种综合地震解释工作,可以配合油气田一次性开发工作。

地 质 背 景

构造特征

束鹿凹陷位于冀中坳陷南部。其北部与深县凹陷相通,东、西两侧为新河、宁晋两大凸起所夹,为一北东向东断西超的箕状凹陷,面积约740平方公里。荆丘构造位于束鹿凹陷南部,为宁晋凸起伸向凹陷的一个鼻状隆起前缘,构成一个被一组近东西向树枝状北倾反向断层所切割的半背斜。构造幅度小、面积小是束鹿凹陷特征。

地层特征

下第三系地层有良好的生储盖组合。其中沙河街组第三段是主要生油层段。沙河街组第二段是以区域性砂岩为主的红色地层,厚达250余米,砂层内单层厚度可达20余米,为本区主要储油层段。其上部属沙河街组第一段下部,为一套区域性含膏白云岩段,一般厚度约100余米,与底部的泥岩构成一套很好的盖层。这样一套地层组合可与地震剖面上具有明显特征的反射波组相对应。

荆丘构造的地震地质解释

资料准备

为了配合荆丘构造的综合解释,在野外完成 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 数字地震测网、24次覆盖的地震资料采集工作的基础上,要求精细处理各种地震信息,对各道振幅进行保持振幅处理,并对主要目的层段的保持振幅的信息进行2毫秒采样;针对主要目的层进行小时窗连续频谱分析;对构造范围内做精细速度分析及层速度剖面;对通过构造部位的地震剖面做HCI处理。

作图层位的确定

对于小幅度构造选择好作图层位是非常重要的。应找寻反映油气藏圈闭形态的区域标志层。荆丘地区主要含油目的层是下第三系沙河街组第二段。为了突出该层反射,在资料处理时,在速度、反褶积等参数及显示上做了精细的选择和改进,剖面质量有了很大提高。解释时发现原对比的 T_4 反射层相当于沙河街组第一段下部含膏白云岩段的反射,沙二段与沙一段呈不整合接触,原 T_4 反射层构造不能完全反映含油层构造形态,而应选择沙二段顶界为作图层位。为了突出小幅度构造,在剖面显示时,纵横向采用不等比例压缩,从而使沙二与沙一段地震反射的不整合现象特别明显(图1)。无论是选择 T_4 层位的上或下相位,其构造面貌将有很大的不同。通过与晋56井及其他几口井的声速资料、合成记录与实际剖面对比表明,真正 T_4 层位应该在沙一段下部的含膏白云岩段反射之下,即沙二段顶界(图2)。

两次反褶积资料也说明原 T_4 强波是含膏白云岩薄层叠加后的复波,经两次反褶积后

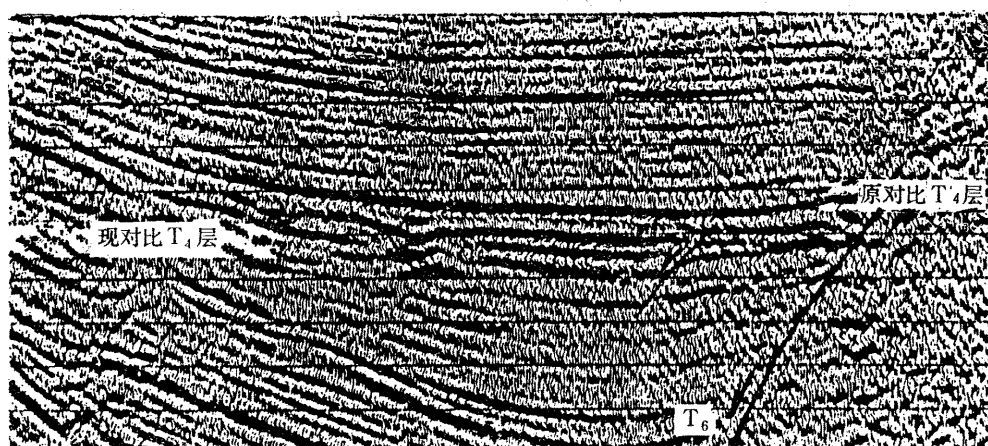


图 1 SL-386 测线叠偏剖面

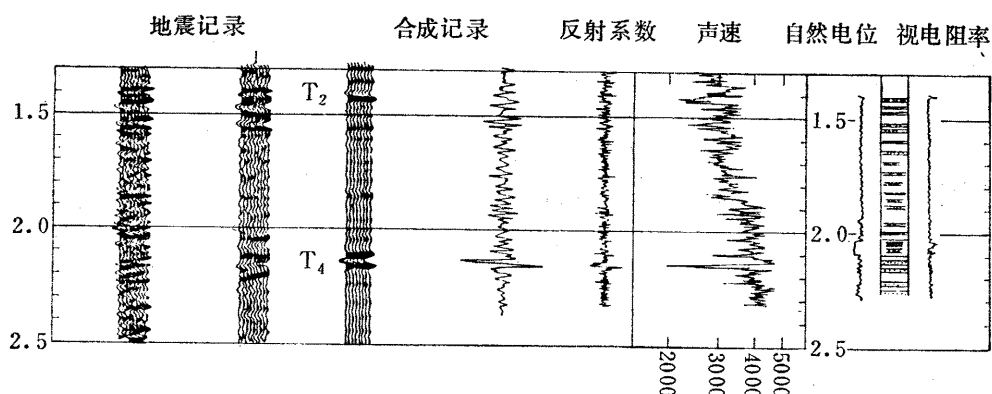


图 2 晋56井合成记录与实际剖面对比

强波被分解，而沙二段顶界的反射并未受改造。利用该层位作图，使原构造面积由 1 平方公里扩大到 6 平方公里。

计算荆丘地区的反射系数

要确定本区各种深度条件下泥岩与下伏含油、气、水砂层之间的反射振幅特征，必须了解含水砂层与含油气砂层反射振幅的增大或减小是否改变符号，这就需要借助于声速测井资料来推断。分析了五口井的声速资料后发现荆丘地区砂、泥岩的速度差异比较大，一般可达 800~1,200 米/秒左右。实测的含油砂岩速度偏低，一般在砂岩速度带的下限，但仍比相同深度的泥岩速度高（图 3）。根据盖斯曼（Gassman）公式和怀特（White）公式可计算出含油气砂岩的体积模量 K 和纵波模量 $M^{[2]}$ ，从而求出含油气砂岩的速度

$$v = \sqrt{\frac{K + 4\mu/3}{\rho}} = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

其中， K ：体积模量； μ ：切变模量； ρ ：密度； $M = K + 4\mu/3$ 空间模量。

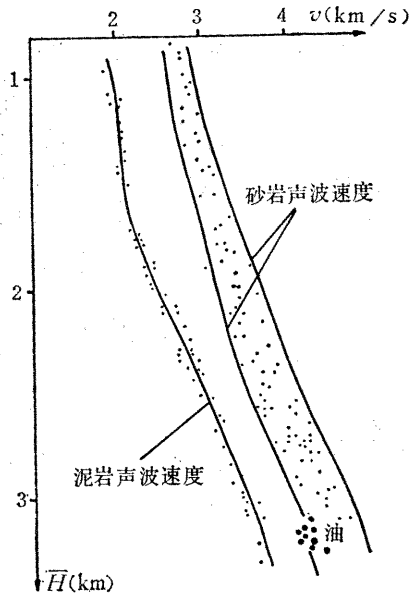


图3 荆丘地区砂、泥岩声波速度曲线

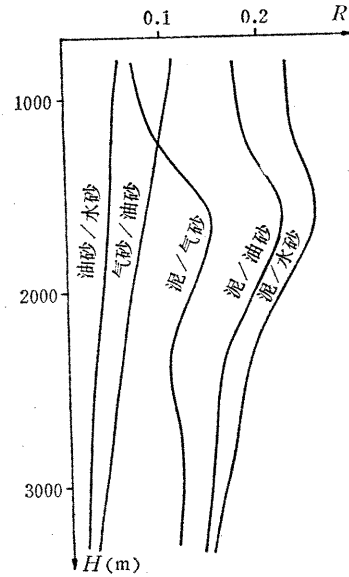


图4 荆丘地区反射系数

利用计算出来的速度，再根据公式

$$R = \frac{v_2 \rho_2 - v_1 \rho_1}{v_2 \rho_2 + v_1 \rho_1}$$

分别计算出泥岩/含水砂岩，泥岩/含油砂岩的反射系数（图4）。从反射系数资料可知，本区反射系数均为正值，且含气砂岩储层<含油砂岩储层<含水砂岩储层。由此说明本区含油气地层的反射将产生暗点。图

5是1,000、3,000米处的反射系数情况，当 $|R_1| < |R_2|$ 时将产生暗点。本区含油目的层埋藏深度一般在3,000米左右，据反射系数分析将产生暗点。实际资料也说明暗点的存在。SL-1009测线正、负极性剖面有暗点显示，尤其是负极性剖面，暗区内反射较弱，还出现反射变平下弯等现象（图6）。从SL-1013测线的振幅包络剖面上看，构造顶部出现明显的暗区（图7）。

几种地震信息的分析

在荆丘构造的地震信息分析中，主要对振幅信息做了比较多的分析工作。除此

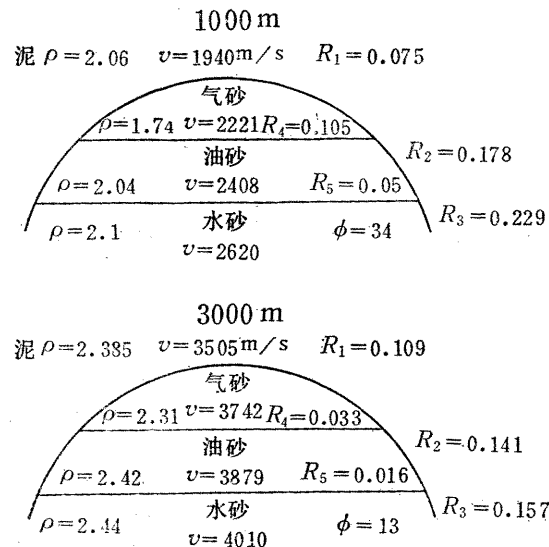


图5 不同深度的反射系数分析

之外为了加强综合分析，还对频率、速度等信息也做了一些分析工作。

振幅信息的分析

众所周知，反射波振幅是地震反射法勘探中的重要参数，也是本区地震信息分析中的主要依据。从本区反射系数计算结果和实际资料的分析可以看出，反映构造顶部含油

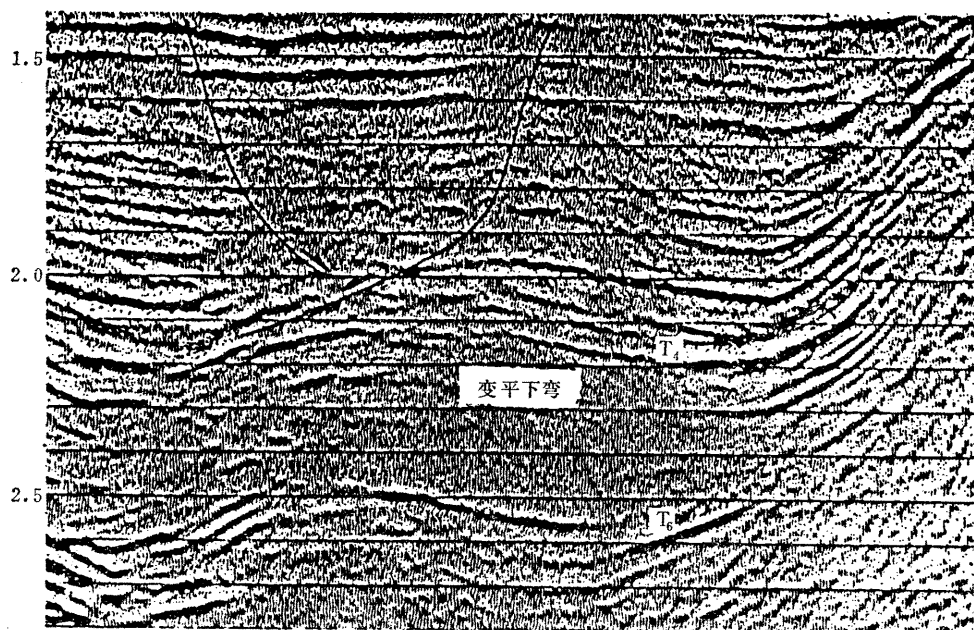


图 6 SL-1009 测线叠偏负极性显示剖面

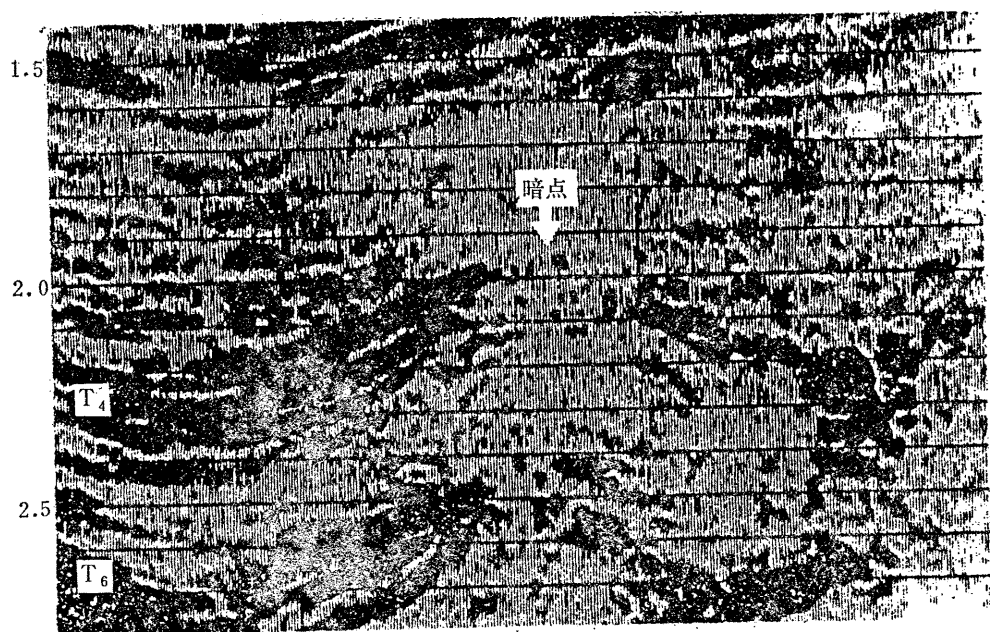


图 7 SL-1013 测线振幅包络剖面

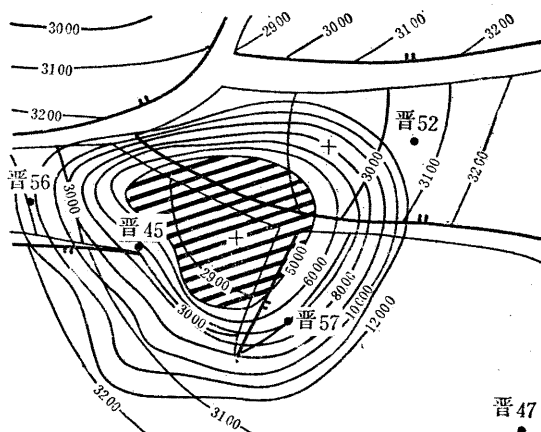
层段的反射波存在振幅减弱和平点等振幅异常。钻探结果也证实振幅异常与含油气地层有关。因此着重分析振幅信息有很大的实际意义。

从保持振幅后的振幅资料分析，振幅值大小的横向变化呈带状分布。振幅相对值的上下限差一般可达3000左右。

在对振幅信息做平面分析时，要考虑各测线做保持振幅处理时应该有一个统一的补偿水平，否则将会直接影响对振幅的平面分析。综上所述，在做振幅分析时，要对振幅

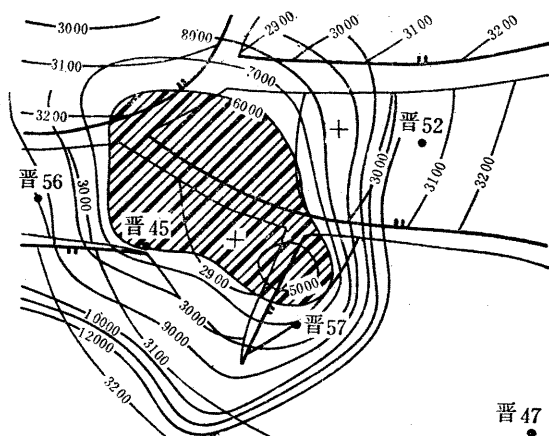
进行必要的补偿和平滑。

通常在弯曲界面上造成的波前扩展速度要比平界面大,因此弯曲界面存在明显的曲率效应,从而将对振幅产生影响。计算表明,在荆丘构造倾角一般在 12° 以下的情况下,利用保持振幅处理的资料计算构造顶部弯曲界面曲率效应的影响而造成的振幅损失一般可达16%左右。在做保持振幅叠加偏移后,水平方向的振幅差异可以基本上得到补偿。因此本区可以不做曲率补偿。



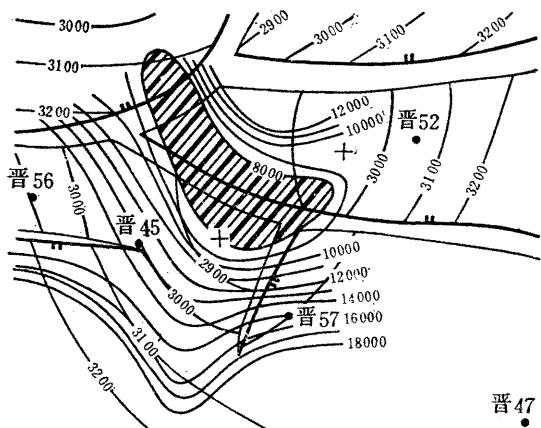
含油层顶 (T_4) 振幅平面图

图 8a



含油层底 (T_5) 振幅平面图

图 8b



含膏白云岩振幅平面图

图 8c

振幅平面图

为了进一步分析振幅信息与油气层之间的关系,要对主要含油目的层顶、底面反射振幅的平面变化进行分析,需要编制振幅平面图。在荆丘地区编制了含油层顶 (T_4)、底 (T_5) 及含油层上部含膏白云岩层等三层反射振幅平面图。其中 T_4 、 T_5 两层振幅平面图 (图8) 的共同点是在构造高部位出现振幅低值区。分析认为,这种振幅低值主要与含油气砂层有关。在连井测线的振幅包络剖面上,可清楚地见到构造顶部含油层段振幅减弱而表现为明显的暗点。

振幅比平面分析

分析振幅比资料时必须在含油层段之上,选择一个振幅较稳定的反射层作为标准层,再把含油层底的反射振幅与它相比较。本区含油目的层沙二段之上为沙一段下部的含膏白云岩段地层,是一个区域性强而稳定的反射层,可作为振幅比的标准层。

由此得到的振幅比平面图 (图9),在构造高部位出现振幅比低值区,振幅比的低值

反映了地层含油气后反射振幅减弱的结果。

暗区平面分布

在 SL-833 测线叠加剖面上见到平点等振幅异常现象, 连井对比分析认为与油气有关, 据此提供的钻探井出油后, 说明平点与油气有关。利用重复该测线的数字剖面负极性显示, 在构造顶部弱振幅暗区内见到平反射, 并与振幅包络剖面中的暗区相吻合, 说明暗区的范围可以指示含油气范围。根据 6 条测线振幅包络剖面圈定的暗区平面图, 基本上与构造高部位相吻合 (图 10)。

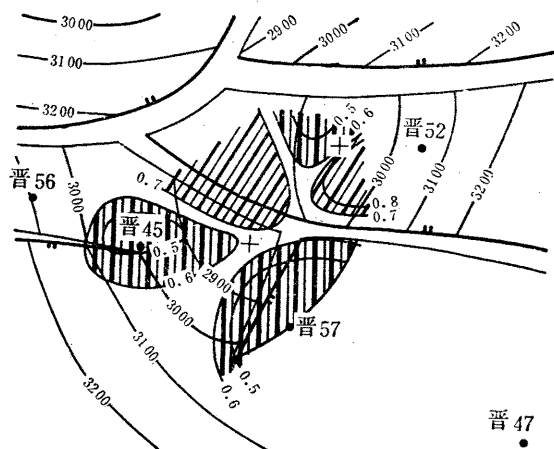


图 9 沙二段底与沙一段下的振幅比平面图

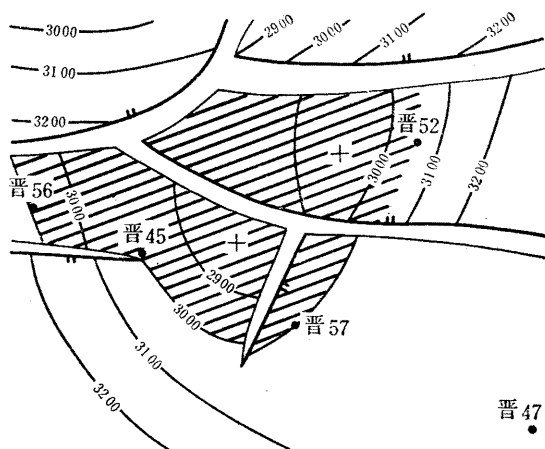


图 10 暗区平面图

上述资料分析表明, 在荆丘地区振幅信息能比较好的反映含油气与不含油气砂层的差异。

频率信息分析

目前对频率信息分析争论比较大, 但作为一种地震信息, 还是值得做一些定量的分析工作, 并作为综合分析的一种参数。一般认为当地层含流体后, 反射波的主频将会变低, 分析含油气与不含油气的相对频率关系还是有意义的。

连续频谱资料的分析

在对 T_4 反射层连续频谱资料分析中发现, 构造高部位确实存在主频偏低的现象。从 SL-1013 测线 T_4 反射层连续频谱图上可见到构造顶部主频在 12Hz 左右, 明显地较两翼低 (图 11)。根据连续频谱资料, 编制了频率差平面图 (图 12)。图中可见最低 -2 等值线圈闭在构造高部位。

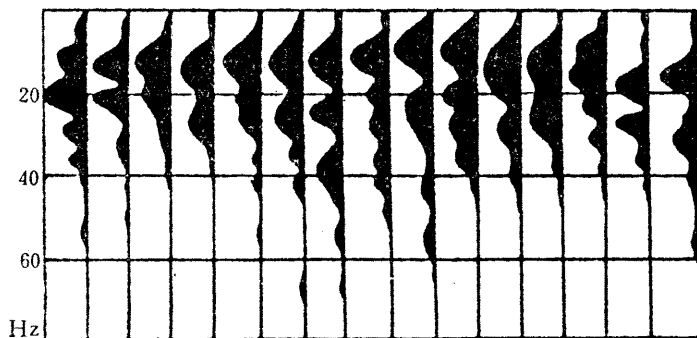


图 11 SL-1013 测线 T_4 反射层连续频谱

根据连续频谱资料, 编制了频率差平面图 (图 12)。图中可见最低 -2 等值线圈闭在构造高部位。

HCI 频率资料分析

对相当于含油气层段的地震反射信息进行频谱分析, 分别确定反射信息的能量、平均

频率、峰值频率和谱的带宽能量等。下面我们仅对峰值频率和带宽能量百分比做一些分析:

①峰值频率 系指能量谱曲线的最高值所对应的频率。当地层含油气后,地震反射能量谱曲线的最高值向低频方向移动。根据HCI对含油层间所做的峰值频率可见,构造高部位含油段主频偏低。在峰值频率平面图上,最低圈闭值12Hz范围在荆丘构造主高点偏西(图13),晋45井—晋56井一线,该段是目前钻探含油气比较好的地区。

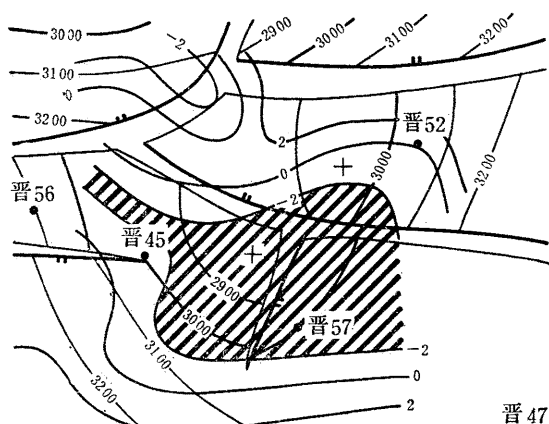


图 12 连续频谱频率差平面图

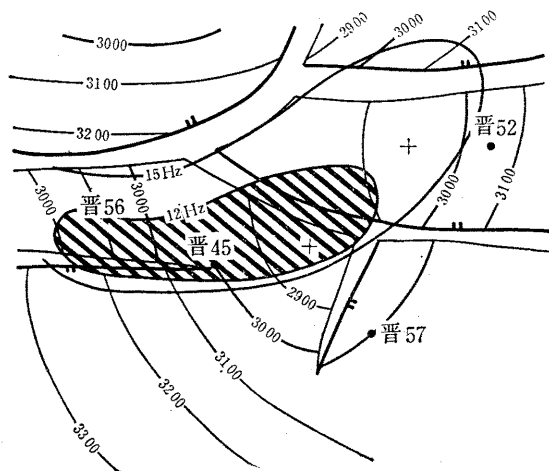


图 13 峰值频率平面图

②低频带宽能量百分比 系指在能量谱的低频7.5~12.5Hz区间内面积积分值占5~55Hz总面积积分值的百分比^[4]。当地层含油气后,地震反射的能量向低频方向移动,低频带宽能量百分比相对较高。从本区低频带宽能量百分比平面图(图14)上可见到晋45井恰好位于高值区内。

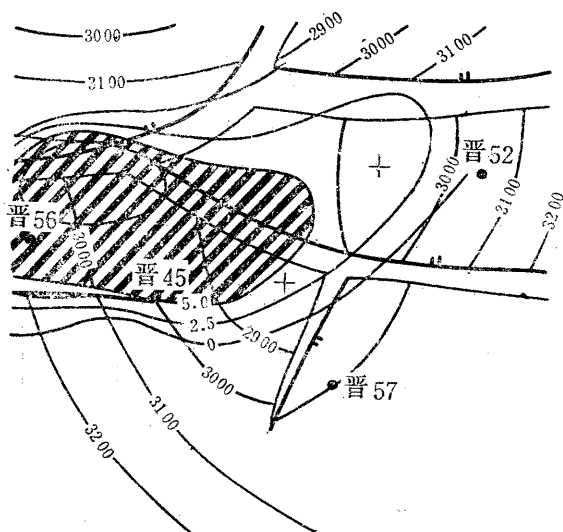


图 14 低频带宽能量百分比平面图

速度信息的分析

荆丘构造上含油层段声波速度偏低的现象,可在利用精细速度分析资料计算的层速度剖面上得到证明。如SL-1013测线精细层速度剖面(图15)上,构造顶部沙二段含油层(T_4-T_5)层速度一般在3,900米/秒左右。上部地层的层速度在3,800米/秒左右,上下层之间的速度差仅在100米/秒,因此引起反射振幅减弱而形成暗点。沙二含油层段两侧不含油气部位速度一般在4,200米/秒左右,与上覆层之间的速度差可达400米/秒,较含油层与上覆层速度差达300米/秒,故反射振幅相对强弱的区别明显。含油层段与不含油层段

明显的速度差异，决定了地震反射振幅的强弱。利用精细速度分析资料计算层速度平面图，可以看出两个低层速度区与构造上两个高点基本一致，说明低层速度与含油气地层有关（图16）。

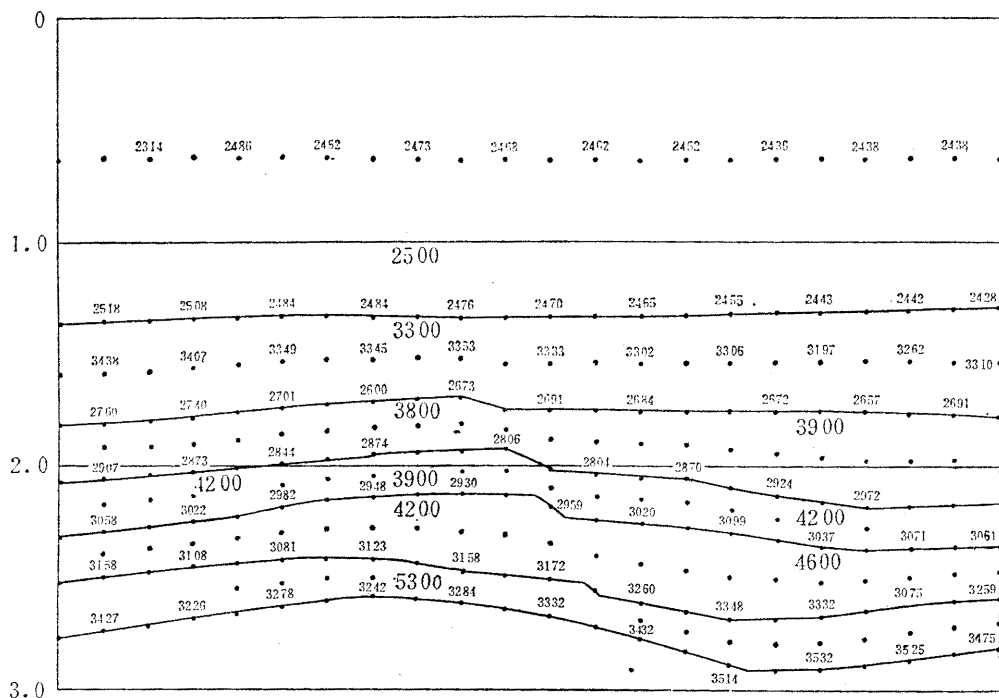


图 15 SL-1013 测线层速度剖面

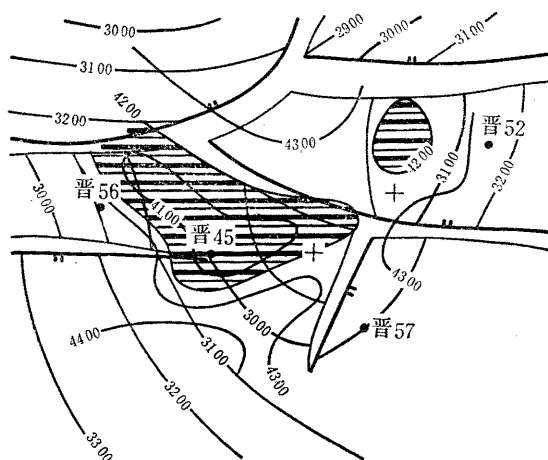


图 16 沙二段层速度平面图

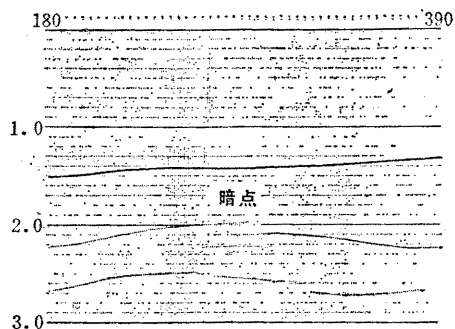


图 17 合成地震剖面

模型分析

速度模型

根据朱衍镛的二维波动方程 ZMODF 模块，以及 SL-1013 测线层速度剖面资料设计的速度模型，制作了合成地震剖面（图 17）。可以看出构造顶部层速度低值区振幅很弱，表现了明显的暗点，与实际剖面的暗区相吻合。

岩性地震模型

对穿过晋45、56、57等井的SL-1009测线利用其对应的层速度剖面、反射系数资料提取的砂、泥岩速度、密度、反射系数等参数设计地震模型,应用ZMODF模块做模型正演,正演结果也反映了含油层段的反射振幅减弱而形成暗点。暗点分布的范围与实际剖面的暗区基本相同,这说明地震剖面上的暗点主要受地层中含油气的影响。

综合分析

HCI综合图上各种参数如均方根速度、层速度、频率、能量等综合效果反映了地层中含流体在地震信息中的影响^[4]。由于目前HCI模块中是以能量增强为亮点,反映在HCI综合图上就以“黑团”表示,但本区含油气地层的反射是暗点,能量弱,因此各种参数的综合效果就不强,特征也不突出。为了反映暗点弱能量这一特征,将HCI模块改进为“暗点”弱能量加分,结果在HCI综合图上,弱能量变成“黑团”突出出来。这反映了本区地层含油气后,地震信息的HCI综合效果是暗点(图18)。

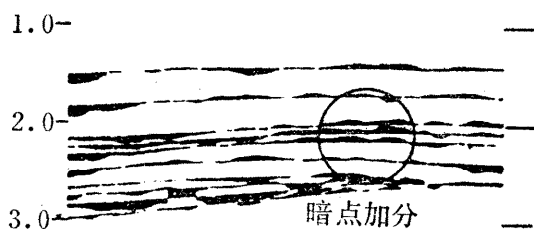


图 18 SL-1013测线HCI暗点加分的综合图

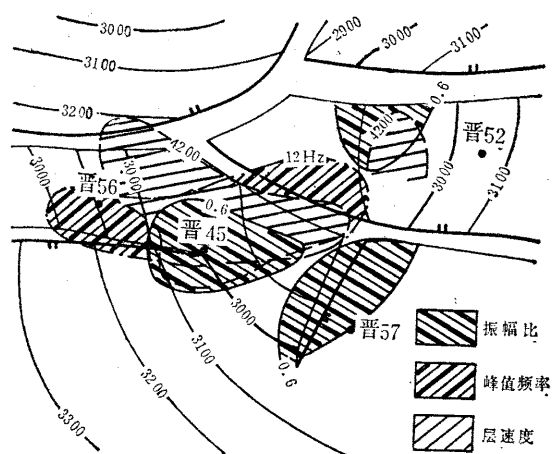


图 19 振幅比、峰值频率、层速度叠合图

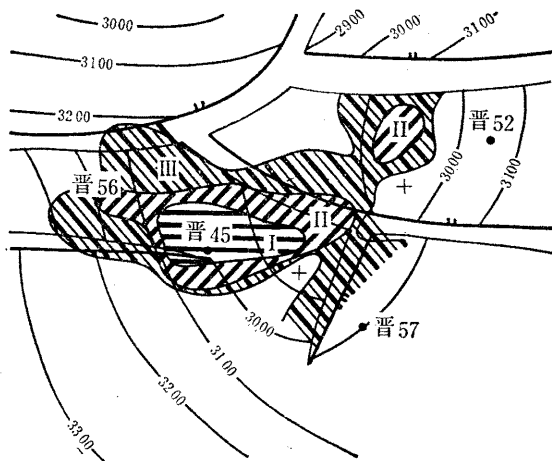


图 20 含油气预测图

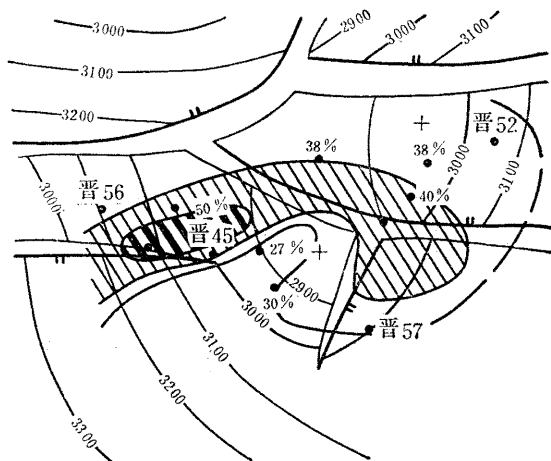


图 21 钻井资料统计的砂岩百分比图

在分析地震信息与油气关系时,必须尽可能利用多种地震信息资料加以综合分析。我们试将振幅、频率、层速度的最佳值,叠置在一张平面图上,其包络数值更接近反映油气藏的范围(图19、20)。三种信息叠合在一起的是I类,两种信息叠合在一起的是II类,一种信息包括的范围为III类。分析认为I类区最好,是含油砂体发育的地区。

勘 探 效 果

地震信息的综合分析结果,与钻井统计的砂岩百分比资料进行对比表明(图21),I类区与含砂百分比最大的50%区基本吻合,是目前钻探见油层最厚、出油最好的高产区。如晋45井初产100方。从构造与油气关系上分析,含油气最好的地区,偏向构造西侧,与地震信息基本吻合。说明荆丘油气藏除受构造控制外,含油砂体的空间分布也起着很重要的作用,也说明地震信息主要反映含油气砂体的空间分布。根据含油砂层段的矿物、粒度、岩性及砂岩百分比分析,认为该含油砂体为河流相点砂坝沉积。位于构造高部位而不在该砂体内的井就不如在砂体构造部位低的井出油好,就说明了这个问题。目前在地震信息圈定的范围内,已钻的开发井基本口口都有油显示。在已试油的15口井中有13口见到工业油流。上述资料分析表明,在荆丘地区特定的地震地质条件下,利用较高信噪比和较高分辨率的数字资料,进行精细处理、精细解释是可以配合油气田一次性勘探和开发工作的。

参加这项研究工作的有王式玲、葛秀花、刘德顺、谷跃民、朱建玲等同志。

参 考 文 献

- [1] 石油工业部物探局研究所情报室编,《反射波地震勘探技术》,石油化学工业出版社,1978
- [2] 钱绍新,油气层速度计算方法的研究,《石油地球物理勘探》,第1期,1983
- [3] 李庆忠,亮点、暗点和平点的解释实例,《石油地球物理勘探技术报告集》,1981
- [4] 李明忠等,陆上地震资料碳氢检测的初步尝试,《物探科技通报》,第1卷,第1期,1983

全国基岩油藏勘探学术讨论会在河北省承德市召开

由中国石油学会石油地质委员会和河北省石油学会联合主办的基岩油藏勘探学术讨论会于9月14日至19日在河北省承德市召开。来自全国石油勘探部门、科研单位、大专院校和出版系统等75名代表出席了会议。

会上,代表们交流了近年来研究基岩油藏的成果和经验,讨论了进一步勘探基岩油藏的方法、程序和建议。特别是几位专家、教授的发言,引起了与会者的兴趣,促进了会议讨论的深入。

大家认为基岩油藏的空间分布与大地构造位置、基底性质和所受应力状态有着密切关系。必须加强地质构造演化和古地貌恢复的研究。近年来,我国基岩油藏研究有了很大进展,但还有许多实际和理论问题有待解决,任务是艰巨的。今后要采用更多的新技术和新方法,深入开展研究,广泛开拓基岩油藏的新领域,更全面地为石油资源的勘探、开发和创建具有我国石油地质特色的新理论做出贡献。

王同和