

综合研究地震信息提高钻探成功率

杨 环 冉

(大港油田)

前 言

我们选择黄骅拗陷南部小集地区,首先应用地震地层学进行沉积环境研究,确定有利相带和良好储层,接着在有利相带上细找各类圈闭,在可靠的圈闭上进行烃类检测,最后用地震模拟检验成果,并结合生油条件和油气运移方式进行综合评价,提出了钻探井位。

一、地 质 概 况

小集地区位于黄骅拗陷南部的孔店构造带南翼倾没端。断层十分发育,构造复杂。

黄骅拗陷为中生代断拗式沉积盆地。下第三系厚度很大,其中孔店组从上到下分为3段。孔二段主体为富含有机质的暗色泥岩,夹油页岩及少量的砂岩,全段厚200—400米,是本区的生油层,干酪根为腐泥型。上覆孔一段中部和下部主要为砂岩与棕色泥岩,厚700—1500米,化石较少,是良好的储层;顶部为一套暗色石膏,最厚200米,为区域盖层。由于生、储、盖组合良好,目前在孔一段内已找到油气田。为了进一步扩大油田范围,寻找新的油田,近两年部署了数字地震队,进行12次覆盖野外作业,并在计算机上处理有反褶积剖面、迭偏剖面、亮点剖面、三瞬剖面、层速度剖面,为开展综合研究提供了条件。

二、研 究 方 法

(一) 确定有利相带

地震地层学是研究沉积环境、确定有利相带的好方法。我们首先根据本区地震反射特征,结合钻井资料、速度资料划分出三个主要地震层序界面和两个地震层序单元。地震层序界面是:孔一段底界下超接触面(图1)、孔一段顶界不整合接触面、孔二段底界不整合接触面。根据这3个界面可确定孔一段、孔二段两个地震层序单元。

由于孔一段是本区主要储油层,我们对孔一段地震地质相作了重点分析。地震剖面上孔一段可分为4种地震地质相(图2)。它们是:变振幅不连续地震相——扇中网状河流区;中振幅较连续地震相——扇中走向河道带;弱振幅平行地震相——扇端;弱振幅不连续地震相——泛滥平原。资料表明,本区孔一时早、中期沉积环境是典型湖岸冲

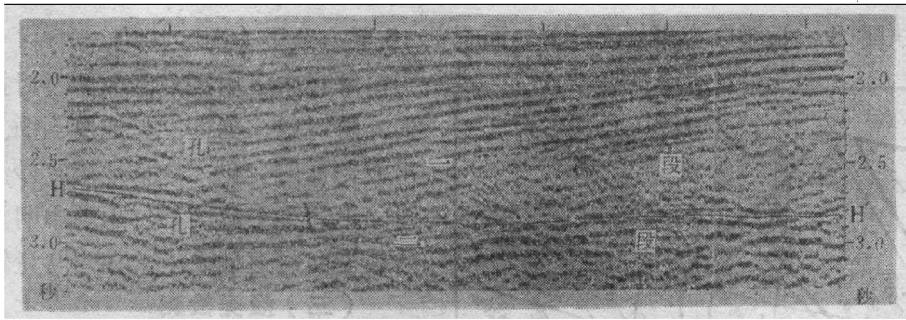


图1 134.5测线水平剖面

H—H'为孔一段与孔二段分界面，孔一段下超在孔二段之上

积扇，晚期为膏盐湖。134.5测线的前积结构表明，物源在东北方向。从钻井资料和地震剖面分析，扇中的网状河道砂发育，砂砾岩含量普遍为20—40%。网状河的前端由于断层的存在，在断层下降盘的低洼部位形成走向河道，走向河道内沉积了大量的砂体。网状河道砂、走向河道砂孔隙度大，渗透性好，是找油的最有利部位。

(二) 在有利相带上细找圈闭

在有利相带上细找各类圈闭是我们工作的立足点。随着勘探程度的不断提高，大的、明显的构造圈闭已很难发现，研究一些小面积、小幅度的构造圈闭和隐蔽圈闭（岩性圈闭、地层圈闭、古地貌圈闭）已显得越来越重要。本区 T_0 （沙三段底）、 T_1 （孔一段底）地震反射标准层的构造图面貌基本清楚，而主力油层孔一段内部的枣Ⅱ油组底只有局部地区才产生可见的地震反射波，能量与波形很不稳定，连续性也差，因此枣Ⅱ油组地层的构造形态不清。根据这种情况，我们除利用水平叠加剖面外，还充分利用瞬时相位剖面，仔细对比解释，确定地层的构造起伏、超覆、尖灭，然后作图。等 t_0 图作出后，再进行三维空间归位，勾图时用加密构造线的方法，力求小幅度构造准确。经过上述工作，在本区新发现孔一段内部枣Ⅱ油组底有圈闭7个，其中断鼻4个，断块2个，复合圈闭1个（高

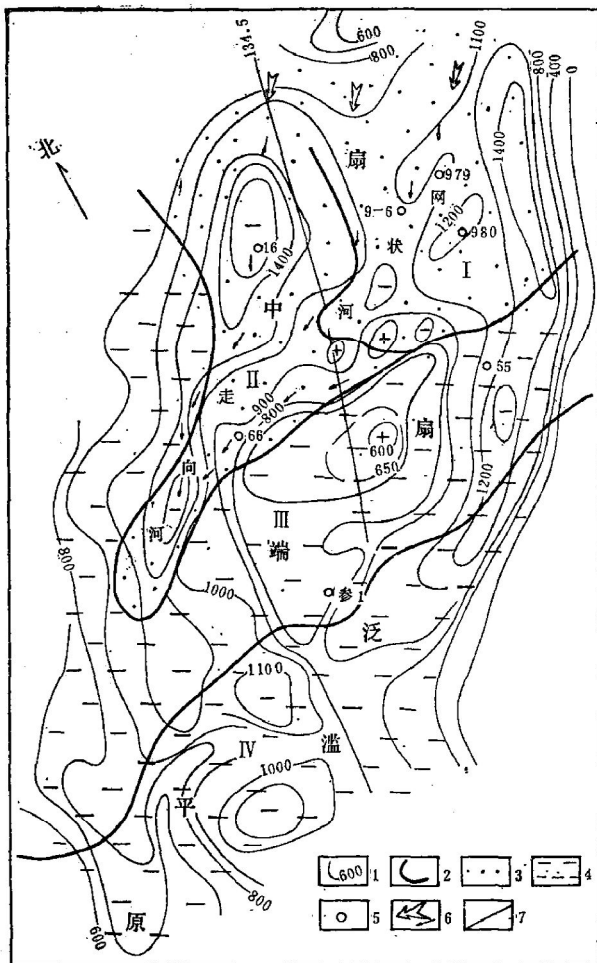


图2 小集地区地震地质相

- 1—孔一段等厚线(m)，2—地震地质相分界线，3—砂岩区，4—泥岩区，5—已钻井，6—水流方向，7—测线；
I—变振幅不连续地震相，II—中振幅较连续地震相，
III—弱振幅平行地震相，IV—弱振幅不连续地震相

部位为断块圈闭,低部位为岩性圈闭),面积共15平方公里(图3,4)。

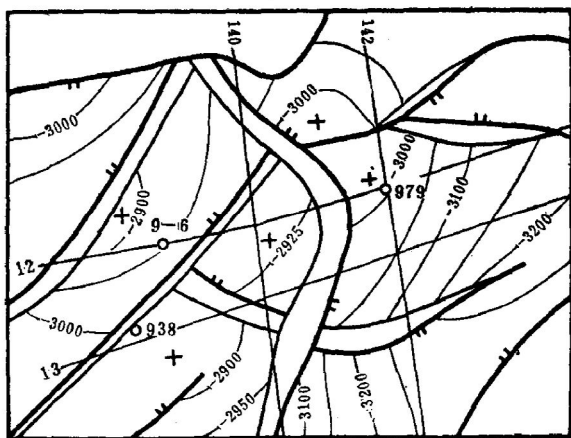


图3 979井构造图

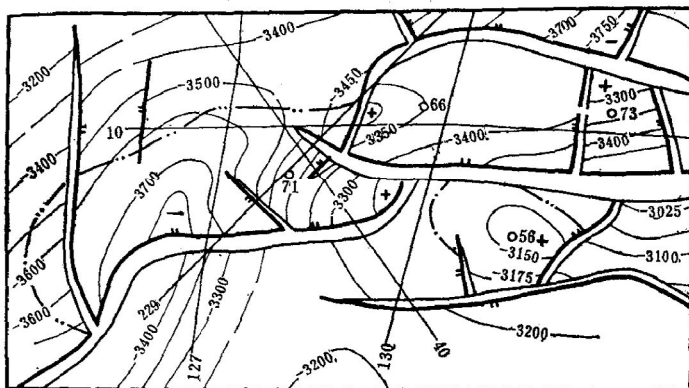


图4 66井构造图

解释中还用亮点剖面、瞬时振幅剖面、瞬时频率剖面、层速度剖面、合成声波剖面的变化,定性确定砂泥岩含量。上述7个圈闭都位于扇中网状河道砂或走向河道砂之上,砂岩含量较高。

(三) 烃类检测

好的圈闭、好的储层不一定有油。为了进一步确定油气是否存在,进行了烃类检测。烃类检测中,除应用地震波频谱、三瞬剖面、亮点剖面进行定性解释外,还专门研究了波谱比、吸收系统、剩余振幅比、剩余速度比4种参数。

1. 波谱比

地震波通过含油气地层以后,高频成分减少,低频丰富。一般认为12赫芝为含油气主频;低频成分能量占全部频谱能量越大,则含油气可能性越大。为此我们取10—14赫芝频谱能量与1—40赫芝频谱能量之比为波谱比:

$$K_F = \sum_{i=10}^{14} A_i(f) / \sum_{i=1}^{40} A_i(f).$$

式中 $A_i(f)$ 为某道地震波选定的时窗内的频谱。

2. 吸收系数¹⁾

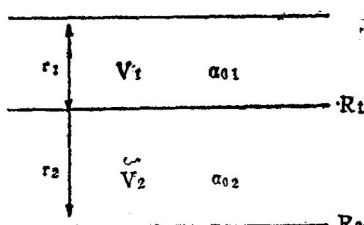


图5 地层结构

岩石含油气以后,地层吸收明显增大,利用地震波频谱可以求取吸收系数。由波尔茨曼提出并经B.B.杰梁金等所发展的弹性后效理论²⁾认为:吸收系数和频率的关系是线性的(即 $\alpha = \alpha_0 f$),反射系数是常数。设介质结构如图5所示,观测到第一界面反射波频谱为:

$$A_1(f) = A_0(f) \cdot R_1 (2r_1)^{-1} \cdot e^{-2\alpha_{01} f r_1} \cdot K(f).$$

第二界面反射波频谱为:

1) 耿庆贤, 1974, 求取一个新参数——吸收系数。石油物探, 第2期。

2) 北京地质学院, 1962, 地震勘探, 第92页。

$$A_2(f) = A_0(f) \cdot R_2 (1 - R_1^2) (2r_1 + 2r_2)^{-1} \cdot e^{-2\alpha_{01}fr_1} \cdot e^{-2\alpha_{02}fr_2} \cdot K(f)。$$

式中 $A_0(f)$ —— 入射波频谱;

R_1, R_2 —— 第一界面和第二界面的反射系数;

r_1, r_2 —— 第一层和第二层的地层厚度;

α —— 层间吸收系数;

α_{01}, α_{02} —— 第一层和第二层单位吸收系数;

f —— 频率;

$K(f)$ —— 接收系统的频率特性。

将上两式相除, 得

$$\frac{A_1(f)}{A_2(f)} = \frac{r_1 + r_2}{r_1} \cdot \frac{R_1}{R_2(1 - R_1^2)} \cdot e^{2\alpha_{02}fr_2}。$$

两边取对数, 得

$$\frac{1}{2r_2} \ln \left[\frac{A_1(f)}{A_2(f)} \right] = \alpha_{02}f + \frac{1}{2r_2} \ln \left[\frac{r_1 + r_2}{r_1} \cdot \frac{R_1}{R_2(1 - R_1^2)} \right]。$$

$$\text{令 } S(f) = \frac{1}{2r_2} \ln \left[\frac{A_1(f)}{A_2(f)} \right],$$

$$C = \frac{1}{2r_2} \ln \left[\frac{r_1 + r_2}{r_1} \cdot \frac{R_1}{R_2(1 - R_1^2)} \right],$$

$$\text{则 } S(f) = \alpha_{02}f + C。$$

当界面确定以后, 上式中 r_1, r_2, R_1, R_2 均为常数。上式为一直线方程, 其斜率 α_{02} 可求出。

在具体计算时, 取上下两层频谱 $A_1(f), A_2(f)$ 和地层厚度 r_2 , 算出 $S(f)$, 以 $S(f)$ 为纵坐标, f 为横坐标, 点在图上, 回归所有的点, 直线的斜率就是吸收系数。还可用最小二乘法算出这条直线适合于这些点的程度, 这个量叫做相关系数 (相关系数最大为 1), 它是一个用于衡量吸收系数可靠程度的量。

3. 剩余振幅比

将亮点剖面某一需要解释的层位的地震波, 在相同时窗长度内打印出振幅。先在一道中取振幅的绝对值纵向求和, 然后对不同道横向求和, 除以道数得其平均值, 再用每一道与平均值之差比上平均值, 即得第 i 道剩余振幅比

$$K_{A_i} = \left(\sum_{i=1}^n |A_i|_j - \bar{A} \right) / \bar{A}。$$

式中 $\sum_{i=1}^n |A_i|_j$ —— 第 j 道各时刻反射波振幅绝对值之和;

$$\bar{A} = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n |A_i|_j \right) / N \text{ —— 某测线平均振幅;}$$

N —— 参加平均的总道数;

n —— 参加纵向求和的采样点数;

K_A 的横向变化是反射振幅横向变化的一种定量反映。

4. 剩余速度比

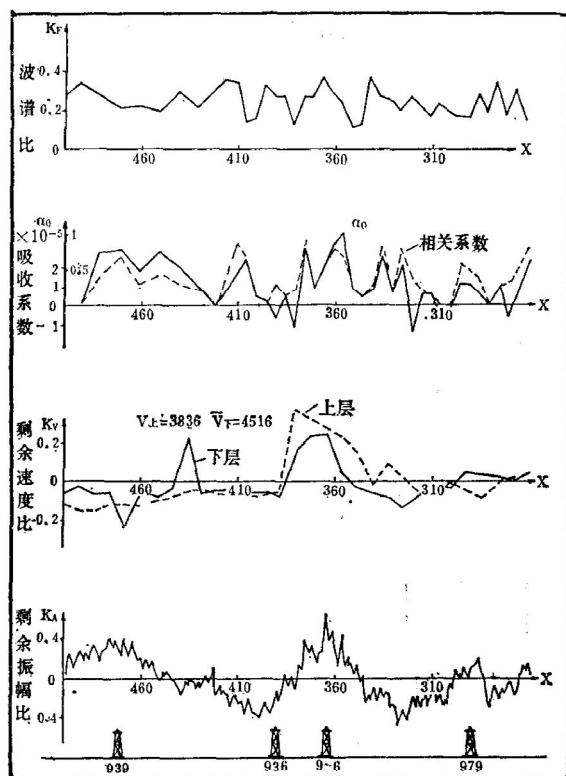


图6 12测线烃类显示曲线

吸收系数图的纵坐标刻度, 左侧为吸收系数, 右侧为相关系数。

其计算方法与剩余振幅比相似。第 i 道剩余速度比为

$$K_{V_i} = \frac{V_i - \bar{V}}{\bar{V}}$$

式中 V_i ——层速度剖面中所选层位内第 i 道层速度;

$$\bar{V} = \left(\sum_{i=1}^N V_i \right) / N \text{——平均层速度;}$$

N ——参加平均的道数。

对经过含油井和不含油井的地震测线计算上述参数, 得到如下的认识——

吸收系数大, 波谱比大, 含油的可能性大。如 938 高产井 $\alpha_0 = 5 \times 10^{-6}$ / 米·赫芝, $K_F = 41\%$; 647 高产井 $K_F = 38\%$ 。剩余速度比为负异常时, 含油或泥质岩的可能性大; 若为正异常, 值较小时主要反映有较多的砂岩, 值较大时反映有含钙砂岩、火成岩或其它高速岩。该区油层一般在 3000 米左右, 烃类形成的亮点几乎没有, 出现的是暗点, 所以当剩余振幅比为小的正异常或负异常时, 含油的可能性大, 高的正异常则可作火成岩或钙质砂岩解释。上述规律中, 以“波谱比越大则含油越多”这一规律最为明显。

根据上述方法, 在有圈闭的地方对部分测线进行了计算。图 6 是 12 测线的烃类显示曲线, 原钻的 939 井有工业油流, 936 井低产, 新设计的 9-6 和 979 井被认为是最有利部位, 4 种曲线综合解释后认为含油可能性大。图 7 是 127 测线的烃类显示曲线, 在震道为 530—540 一段, $K_F = 50\%$, $\alpha_0 = 2.5 \times 10^{-5}$ / 米·赫芝, K_V 为小的正异常, K_A 为负异常, 说明该处是一个含油的暗

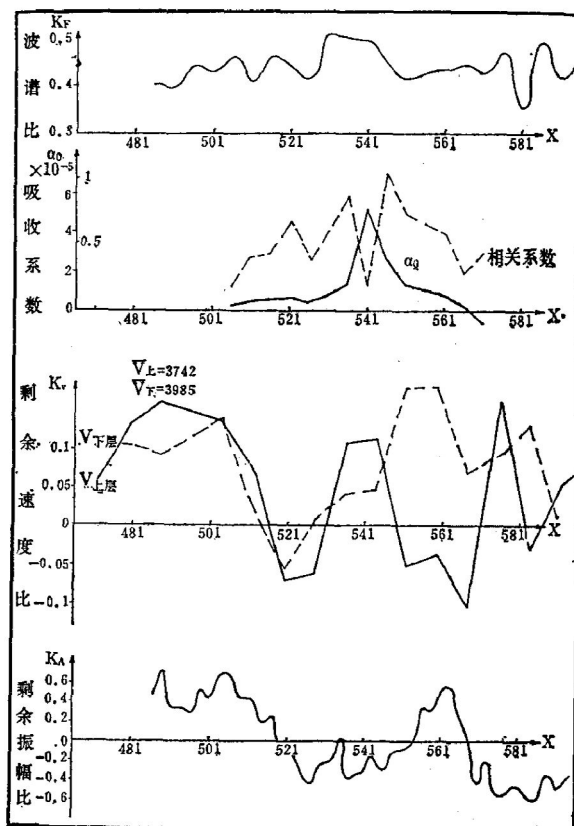


图7 127测线烃类显示曲线

点。图8是复合圈闭与66井断鼻构造上的波谱比平面图，最大波谱比值为0.4，66井已出油，71井正钻。

(四) 地震模拟

为了对解释的有利部位进行验证，采用地震模拟是行之有效的方法。模拟以前子波的确较为重要。各种理论子波种类较多，但实际运用的地震子波我们是以地震测井记录确定的。比较不同地区、不同深度记录的地震子波，可以看出子波的形状不但受深度影响，更主要的受地区的影响，有的差异还较大。我们选择了混合相位子波计算了图9理论模型的地震记录。模型中含水砂岩速度

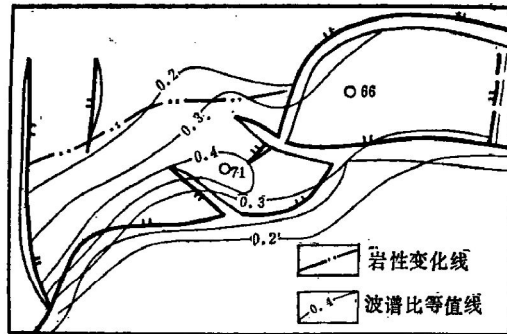


图8 波谱比等值线图

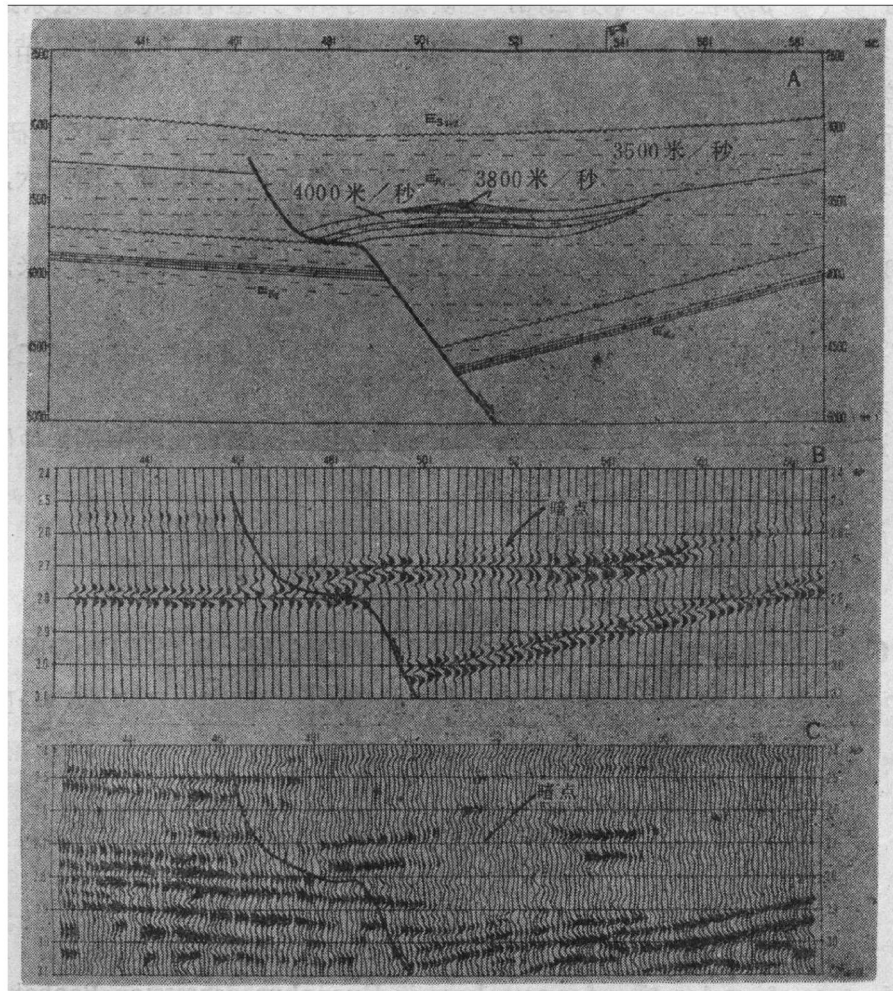


图9 沿断层形成的河道砂富集油后剖面上产生暗点

A—127 测线地质剖面模型，B—127 测线人工合成时间剖面，C—127 测线野外地震时间剖面

设计为4000米/秒，含油砂岩速度为3800米/秒，盖层泥岩速度为3500米/秒。计算出的理论记录与野外记录大同小异，说明沿断层形成的走向河道砂富集油后在127剖面上

产生暗点。距暗点1公里的71井正钻,其上部已见荧光显示。

三、效 果

根据上述研究方法,综合各种资料在本区选择了4个断鼻、1个断块、1个复合圈闭进行了钻探。

979井断块(图3)位于扇中网状河道之内,砂体发育,构造形态可靠,烃类显示(图6)曲线上4项指标都有不同程度的含油气特征,砂层顶部有较厚的石膏盖层,四周的断层可通到下部孔二段生油层,成为良好的油气运移通道。979井完钻以后电测解释孔一段内油层49米、油水同层45.8米,试了部分油层和油水同层,上部日产油68吨,下部日产油75.4吨、气2130立方米,且都能自喷。

9-6井断鼻(图3)位于979井西测,地质条件与979井基本相同。吸收系数、波谱比较大,剩余速度比、剩余振幅比都是较大的正异常,不如979井有利。完钻后,日产油41.7立方米。

66井断鼻(图4)已伸入深的凹陷部位,以前被认为是储层不发育地区,研究以后认为该断鼻位于扇中走向河道砂之上,砂体发育,构造落实,周围断层断距大,枣Ⅱ油组砂岩可直接与孔二段生油岩接触,波谱比值为0.3(图8)。66井完钻后,电测解释油层44.8米,油水同层27.2米,试油自喷,日产油63.3吨、气2640立方米,预计可成为新的油田。

钻探6个圈闭,6口井,正钻1口,完钻5口。完钻的5口井中3口井获工业油气流,另两口井见显示,成功率60%,比原成功率大有提高。

通过上述综合研究,见到一定成效。但研究方法只是一种尝试,特别是各种信息的多解性,还有待更深入地研究。

研究中高灵羽、孟祥英、张志宽、周方、李军等同志作了大量工作。

(收稿日期 1983年10月8日)

UPGRADING EXPLORATION EFFECTS BASED ON COMPREHENSIVE STUDY OF SEISMIC INFORMATION IN HUANGHUA DEPRESSION

Yang Huanran

(Dagang Oilfield)

Abstract

Effectiveness of exploration for petroleum in Huanghua depression, Baohai-bay basin, is increased through comprehensive study of seismic and drilling information in conjunction with sedimentary environments, structural traps, detection of hydrocarbon and seismic modelling. Some new oil-fields are therefore to be found out, and geological reserve has been increased.