

薄互层砂岩储层的人机交互预测

温祥泉

(大庆物探公司研究所综合研究室 163357)

在陆相盆地勘探中,薄互层砂岩的预测一直是困扰勘探开发工作的难题。本文以高分辨率处理资料为基础,通过在 GEOQUEST 人机联作解释系统上的地震模型正演,并绘出了目的层反射波振幅平面,进而应用实际钻井砂岩累计厚度与振幅值拟合了二者之间的关系曲线。根据这一关系曲线将振幅平面图转变为半定量砂岩预测平面图,并初步验证了钻井符合率。

关键词 人机联作 地震模型正演 振幅 薄互层砂岩

作者简介 温祥泉 男 38岁 工程师 石油物探

1 葡萄花油层的地震地质条件

葡萄花油层位于下白垩统姚家组一段地层中,是本区预开发油层。一般埋深为海拔-1000m左右。上覆姚二、三段地层和下伏青山口组地层岩性均以泥岩为主。葡萄花油层总厚度为30~50m之间,以砂泥岩薄互层为沉积特征,最大单层厚度不大于2m,累计厚度在5~25m之间。

使用的地震资料为1989年冬季施工,30次覆盖的数字地震资料,1×2km测网。

资料处理采用高分辨率处理流程。提高了剖面分辨率,目的层频率由常规的30~35Hz提高到40~45Hz。并且,剖面质量超过部颁标准。

2 葡萄花油层在时间剖面上的标定

勘探目的层在地震时间剖面上的标定是砂岩预测的基础。通过敖155井人工合成地震记录与地震剖面的对比,在地震剖面上较准确地标定出了葡萄花油层的位置(图1)。

敖155井在1152m至1183m声波时差低值段为葡萄花油层。可见,葡萄花油层顶面对应合成记录上波峰极大值点,葡萄花油层底面对应的

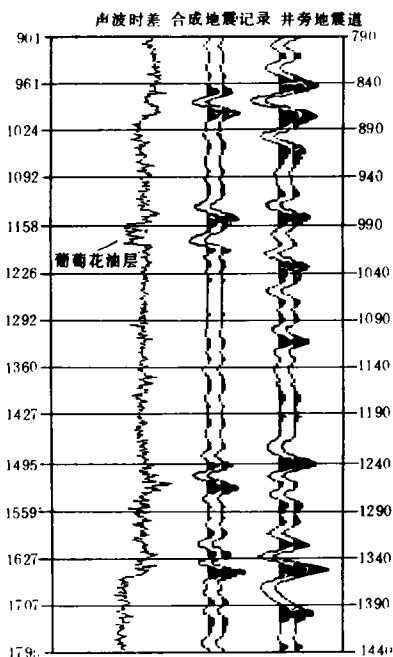


图1 敖155井的声波时差曲线、人工合成记录和井旁地震道在微机屏幕上的对比情况

是波谷的极少值点。利用人工合成记录与井旁地震道作相关使之完全吻合。这样地震反射波时间与钻井深度之间就建立起了一一对应关系, 葡萄花油层在地震剖面上的位置就标定出来了。

为了方便我们将葡萄花油层顶界面形成的反射称第一波峰, 以下各波以此类推。葡萄花油层底界面为第二波谷。葡萄花油层从中间可分成上、下两部分, 厚度各为 20m 左右。

3 薄互层砂岩预测

由于本区葡萄花油层所处的特定地质环境, 葡萄花油层上覆和下伏泥岩厚度均大于地震波波长的一半($\lambda/2$)。是利用振幅信息预测砂岩“得天独厚”的有利条件。但是, 葡萄花油层岩性横向变化快, 砂岩最大单层厚度不超过 2m, 在地震技术中, 厚度小于八分之一波长($\lambda/8$, 甚至 $\lambda/4$)就被定义为薄层了。按地震视频为 40Hz 计算, $\lambda/8$ 地层厚度约为 9m。葡萄花油层砂岩单层厚度远小于地震薄层的定义厚度。所以, 葡萄花油层砂岩预测难度较大。那么, 利用地震方法能否预测葡萄花油层的砂岩呢? 要解决这一问题必须从事两个方面的研究, 即本区葡萄花油层地震地质条件下的地震分辨率研究; 砂泥岩薄互层地震响应的研究。下面就从上述两个方面分别进行讨论。

1) 葡萄花油层地震地质条件下的地震分辨率研究

为了研究本区葡萄花油层地震地质条件下的地震分辨率, 首先利用声波测井资料换算了葡萄花油层砂岩速度及上、下层泥岩速度。算得砂岩速度为 3100m/s, 泥岩速度为 2600m/s。模拟葡萄花油层地质条件, 设计了二维砂岩楔状体模型, 又称为储层厚度递增模型 (IPT)。砂岩密度 $\rho=2.35\text{g/cm}^3$, 泥岩密度 $\rho=2.30\text{g/cm}^3$ 。子波频率 40Hz, 在 GEOQUEST 人机联作解释系统上进行了地震模型正演, 结果如图 2 所示, 并绘出了砂岩厚度与视振幅之间的关系曲线(图 3)。

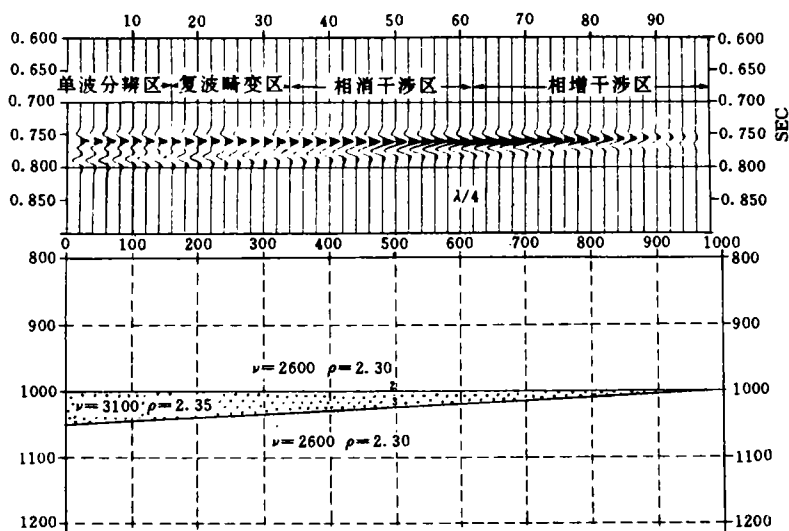


图 2 二维地震模型

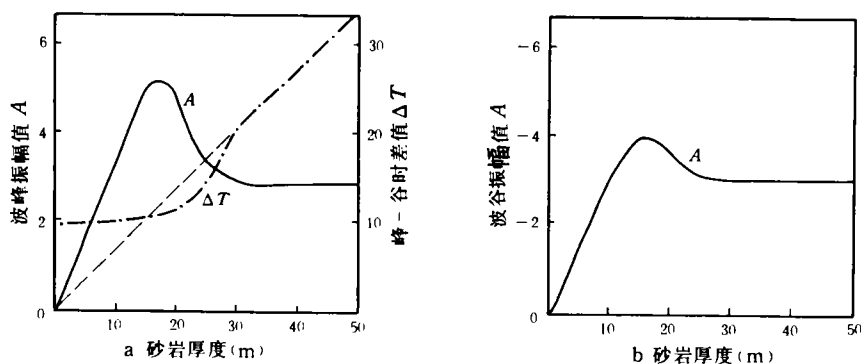


图 3 砂岩厚度与视振幅关系曲线

通过上述二维地震模型正演可以得到以下认识：

- (1) 本区地震地质条件下，葡萄花油层砂岩调谐厚度为 18m。
- (2) 当砂岩厚度小于调谐厚度时为“相增干涉区”，砂岩厚度与振幅值成正比。
- (3) 当砂岩厚度大于调谐厚度时情况较复杂，砂岩厚度增大振幅反而减小，称之为“相消干涉区”，到波峰振幅不变时，下方开始出现复波，称之为“复波畸变区”。当砂岩厚度继续增大时，波谷开始可以分辨出砂岩底界时称之为“单波可分辨区”。

本区葡萄花油层砂岩最大单层厚度均小于地层调谐厚度，处于“相增干涉区”。所以，利用地震波振幅预测砂岩厚度是可行的。

为了分析砂泥岩等厚互层的地震分辨率，设计了 21 个一维地震模型。模拟葡萄花油层地质环境，上、下层泥岩速度为 2600m/s、砂岩速度为 3100m/s，葡萄花油层总厚度为 45m。子波频率取 40Hz。

第 0 道：上、下层泥岩速度为 2600m/s、葡萄花油层总厚度 45m、砂泥岩过渡性速度为 2900m/s 的一维地震模型正演结果。

第 1 道至 20 道一维模型为上、下层泥岩速度 2600m/s，砂岩速度为 3100m/s。第 1 道是葡萄花油层内以 0.5m 砂泥岩等厚互层的地震响应。第 2 道为 1m 砂泥岩等厚互层的地震响应。以下各道以 0.5m 等厚度递增(图 4)。



图 4 一维地震模型

从图 4 可以看出，从 0 道至 9 道波形基本相同。说明本区葡萄花油层地质条件下，砂岩厚度小于 5m 时，地震反射波振幅只与砂泥比有关，与砂岩的层数分布方式无关。也就是说，地层厚度小于 $\lambda/16$ 时，砂泥岩薄互层可以认为是均质体，其层速度大小与地层中砂泥比有关。这一结论可以简化二维地震模型的设计。

2) 葡萄花油层砂岩地震响应研究

基于对本区内 30 余口井的分析,就葡萄花油层砂岩分布规律,可大致归纳为 5 种情形:

- (1)上部发育;
- (2)中部发育;
- (3)下部发育;
- (4)上、下部均发育;
- (5)均匀分布有砂泥岩互层。

为进一步研究空间分布位置、厚度对地震反射波的影响,按本区葡萄花油层实际地质条件设计了棱形体模型(图 5,a)、砂岩透镜体模型(图 5,b)和顶底对称砂岩厚度递增模型(图 5,c)。

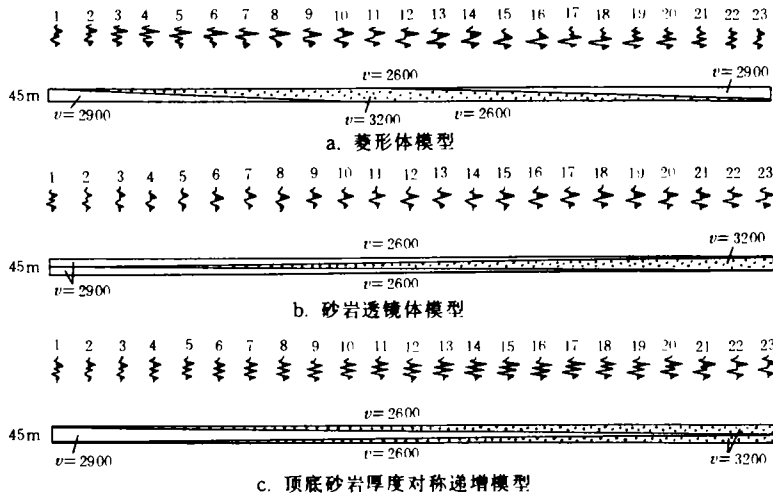


图 5 葡萄花油层砂体模型

从棱形体模型正演可以得到以下认识:

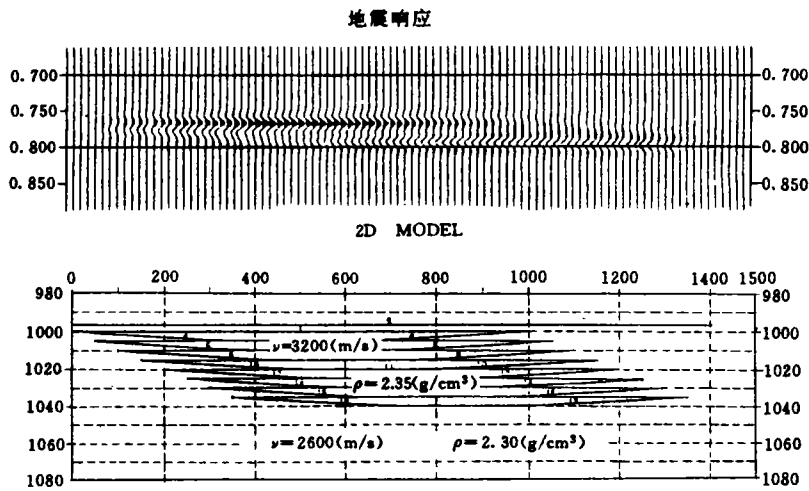
- (1)葡萄花油层顶部砂岩厚度增加时,第一波峰振幅值也逐渐增加(在砂岩厚度小于调谐厚度时)。
- (2)随着底部砂岩厚度增加第二波峰振幅值也逐渐增加。
- (3)第二波谷随着底部砂岩厚度增加有与第二波峰相同的变化规律,只是相位相反。

从砂岩透镜体模型正演有以下认识:

- (1)随着中部砂岩厚度增加第一波峰振幅值增大。
- (2)第二波谷随着中部砂岩厚度增加与第一波谷合为一体。合并后的波谷与第一波峰有相同的变化规律,只是相位相反。

顶底对称砂岩厚度递增模型正演结果与上述结果相似。

为了更进一步了解砂泥薄互层的层数、累计厚度对地震反射波振幅的影响,设计了一个 18 层三角形砂岩模型,且模型的层数、分布位置及砂岩累计厚度都是变化的。并在 Gequest 人机联作解释系统上进行了正演计算,薄互层模型及正演结果如图 6 所示:



砂泥岩薄互层二维地质模型

图 6 砂泥岩薄互层模型及正演结果

从上述砂泥岩薄互层二维地震模型正演可以得出以下结果：

- (1) 当葡萄花油层顶部砂岩累厚、层数增加时，第一波峰振幅值也逐渐增大。
- (2) 当葡萄花油层底部砂岩累厚、层数增加时，第二波谷振幅的绝对值也逐渐增大。

上述结论为利用振幅预测葡萄花油层薄互层砂岩奠定了基础。

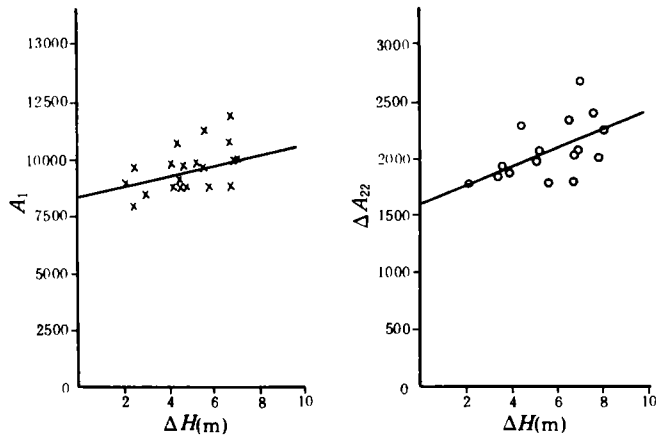
3) 薄层砂体预测方法

基于上述地震模型正演结果分析，我们将地震资料成果带(叠加偏移剖面)输入到 INTERPRETER-2 人机联作解释系统中，进行人机联作解释对比。同相轴追踪采用半自动追踪为主人工修改为辅的原则。在事先选定正相位时，半自动追踪计算机自动选取振幅极大值点。在预先选负相位时，则选取极小值点。

半自动追踪当迁到断层或干扰波时，轨迹就出现“乱跳”现象。为了弥补这一不足在“乱跳”段加以人工干预，修改后使之符合地下地质情况。此后由计算机在已对比完的目的层上自动拾取振幅值，网格化计算。最后，由计算机自动绘出振幅等值线平面图。这一方法解决了人工读取振幅值误差大，编图繁杂等问题，并且精度高。特别是由于变面积显示剖面振幅波形相互叠置，人工读取振幅值困难时，计算机拾取振幅值是人工拾取所不及的。

从前面地震模型正演结果可知：第一波峰的振幅值与葡萄花油层上部砂岩厚度有关，而第二波峰与第二波谷振幅的差值 ΔA_{22} (在数值上等于峰谷振幅绝对值相加) 与葡萄花油层下部砂岩厚度有关。

所以，我们将钻井实际统计的砂岩厚度与地震剖面上实际振幅输入微机进行线性拟合，拟合出了第一波峰振幅 A_1 和葡萄花油层上部砂岩厚度的关系，以及第二波峰和第二波谷振幅值差 ΔA_{22} 与葡萄花油层下部砂岩厚度的关系(图 7)。



葡萄花油层上部砂岩厚度与第一波峰的关系图

葡萄花油层下部砂岩厚度与第二波峰到第二波谷 ΔA_{22} 振幅差值关系图

图7 葡萄花油层砂岩厚度与波峰(谷)关系图

根据上述振幅与砂岩厚度的关系对 A_1 和 ΔA_{22} 平面图进行转换, 编制了葡萄花油层上部砂岩等厚度图(图8)和葡萄花油层下部砂岩等厚度图(图9)。当然, 这两幅砂岩等厚图只能是趋势性的或半定量的。

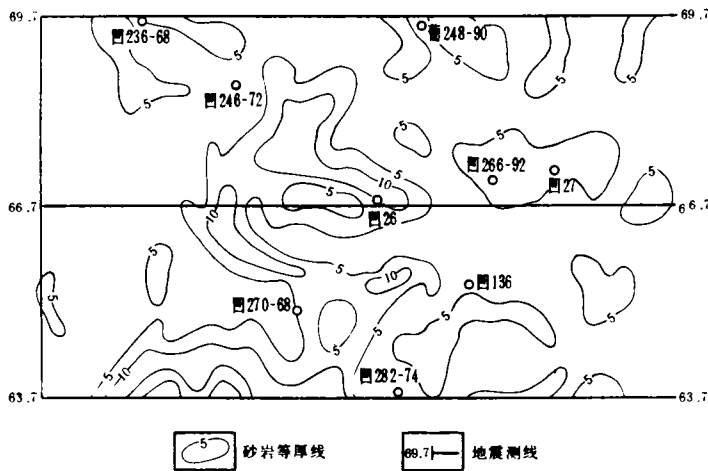


图8 敖包塔地区葡萄花油层上部砂岩等厚度图

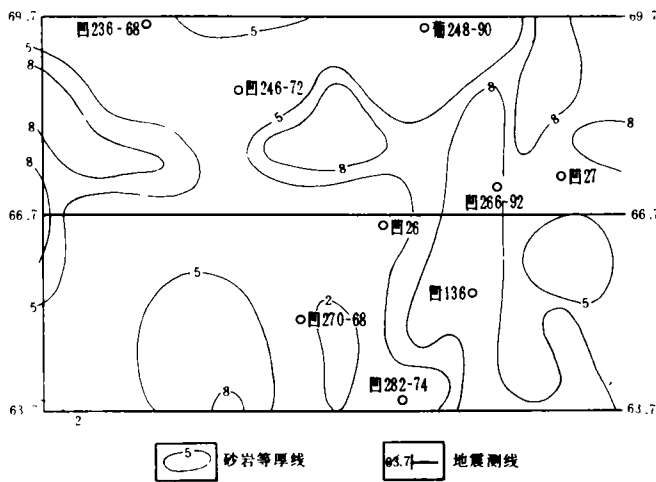


图 9 敖包塔地区葡萄花油层下部砂岩等厚度图

4 砂岩预测效果的初步验证

在对本区 32 口井测井曲线解释的基础上,统计了葡萄花油层上部及下部的地震岩(包括钙质砂岩在内的泥质粉砂级以上的砂岩)厚度,然后将测井解释的砂岩厚度与地震预测的岩性进行比较。按绝对误差大于 2m 为地震预测砂岩厚度与钻井砂岩厚度不符合,小于 2m 为地震砂岩与钻井砂岩符合(表 1)。

表 1 敖包塔地区地震砂岩钻井符合率统计表

	符合井数	不符合井数	符合率(%)
葡萄花油层上部	27	5	84.4
葡萄花油层下部	24	8	75

从表 1 可以看出葡萄花上部地震方法预测的砂岩厚度的钻井符合率为 84.4%,下部地震预测砂岩厚度的钻井符合率为 75%。

5 结论及存在问题

通过地震模型正演及人机联作解释得出以下初步认识:

- (1)在薄层砂岩预测中,地震分辨率的论证是必要的。储层厚度递增模型(IPT)正演是利用振幅预测砂岩的理论基础。
- (2)利用人机联作解释系统预测薄互层砂岩是人为因素少、精度高、节省时间的方法。
- (3)经本区现有 32 口井的初步验证,利用振幅方法预测葡萄花油层上部砂岩厚度钻井符合率为 84.4%。葡萄花油层下部砂岩厚度钻井符合率为 75%。

(4)在人机联作解释系统上,由于目的层附近资料不好时会出现乱跳现象,需人工修正。

利用人机联作解释系统及地震模型技术进行砂岩预测还处于研究探讨阶段,此方法有待进一步改进、提高、完善,为勘探、开发作出贡献。

(收稿日期:1993年1月30日)

MAN-COMPUTER INTERACTIVE PREDICTION ON THIN-INTERBEDDED SANDSTONE RESERVOIRS

Wen Xiangquan

(Comprehensive Research Branch, Research Institute of Daqing Geophysical Prospecting Company)

Abstract

In the exploration of continental basins, the prediction of thin-interbedded sandstones is always a difficult problem which perplexes the work of exploration and development. Based on the data of high-resolution treatment in this paper, the amplitude plane of reflected waves in a target stratum is orthographically demonstrated and drew by means of a seismic model on the GEOQUEST system of man-computer on-line interpretation. And then the cumulative sandstone thickness and amplitude value in practical drilling are applied to fit their relational curve. According to this relational curve, an amplitude plan is converted into a semi-quantitative plan for sandstone prediction, and drilling coincidence ratios are preliminarily confirmed.