

# 内蒙陆西凹陷层速度分析及岩性预测

查明 张卫海 朱筱敏 雷安贵 苍瑞波

(石油大学, 山东东营 257062) (辽河石油勘探局, 辽宁盘锦 124010)

作者根据大量地震剖面和速度谱资料, 计算、分析了陆西凹陷上侏罗统地震层速度及其分布特征, 制定出该区砂、泥岩解释量版, 利用声波层速度资料进行了平滑及压实校正, 最后计算了各层段的砂岩百分比含量。通过层速度分析和岩性解释, 确定了它们与地震相和沉积相之间的对应关系, 为有利相带的预测提供了定量依据。

关键词 层速度 压实曲线 砂岩含量

第一作者简介 查明 男 36岁 副教授 石油地质

## 0 前言

在勘探初期, 充分利用地震信息(尤其是速度信息)进行地层解释和岩性预测是提高勘探效果的重要途径之一。本文根据陆西凹陷区域构造条件和地震反射特征, 采用速度谱资料研究了该区地震层速度与岩性的分布规律, 确定了砂岩富集区与沉积相带的展布关系。

陆西凹陷位于内蒙古自治区哲里木盟和昭乌达盟交界处, 为开鲁盆地陆家堡拗陷西部的一个次级负向构造单元。它是在海西褶皱基底上发育起来的中生代单断箕状凹陷, 其构造走向为NE, 面积760km<sup>2</sup>。盆地于晚侏罗世早期发生断陷, 由下而上沉积了义县组; 巨厚的火山碎屑岩, 厚度大于1000m; 九佛堂组(下、上段)、沙海组和阜新组, 主要为湖相或三角洲相碎屑沉积, 厚度2000余米。晚侏罗世末期盆地抬升遭受剥蚀, 白垩纪早期为拗陷发展阶段, 沉积了姚家、嫩江、四方台、明水组和第三、第四系, 厚达1100m。目前盆地中已发现较丰富的油气。

## 1 层速度分析

因本区上侏罗统主要为砂泥岩剖面(义县组除外), 故可用砂泥岩物理模型的速度平均方程(朱筱敏等, 1990)来计算砂、泥岩含量:

$$\frac{1}{v} = \frac{P_s}{v_s} + \frac{P_m}{v_m} \quad (1)$$

式中  $v$  为某层段的层速度,  $P_s$ 、 $P_m$  分别为砂岩和泥岩的百分比含量, 显然  $P_s + P_m = 1$ 。  $v_s$  和  $v_m$  分别为纯砂岩和纯泥岩的层速度。

在参考水平叠加剖面的基础上, 对全区 33 条地震测线的速度谱资料进行了解释。经过量取地震剖面上各层段顶底  $t_0$  值、倾角校正量  $\Delta T_0$ 、读取相应炮点速度谱上的叠加速度  $v_0$  以及叠加速度的剖面平滑等步骤, 求取均方根速度  $v_R$  :

$$v_R = v_s \cos \varphi \tag{2}$$

式中  $\varphi$  为界面倾角:

$$\cos \varphi = \left( 1 - \frac{\Delta T_0^2 v_s^2}{L^2} \right)^{-1/2} \tag{3}$$

其中  $L$  为与该炮点相邻的 10 个 CDP 之间的距离(本区为 500m)。由 Dix 公式求得层速度:

$$v_n = \left( \frac{T_{0,n} v_R^2 - T_{0,n} v_{R,n-1}^2}{T_{0,n} - T_{0,n-1}} \right)^{1/2} \tag{4}$$

式中  $T_{0,n}$  和  $T_{0,n-1}$  分别为第  $n$  和第  $n-1$  层反射时间,  $v_R$  和  $v_{R,n-1}$  分别为第  $n$  和第  $n-1$  层的均方根速度。

考虑到影响速度谱的因素较多, 我们还采用  $2 \times 2$  km 的网络对层速度进行了平面平滑, 以增强层速度变化的规律性。我们计算阜新组( $J_3f$ )、沙海组( $J_3sh$ )、九佛堂组上段( $J_3j^1$ )和下段( $J_3j^2$ )的层速度并绘制了平面图, 现以( $J_3sh$ )为例说明层速度的分布特征(图 1)。

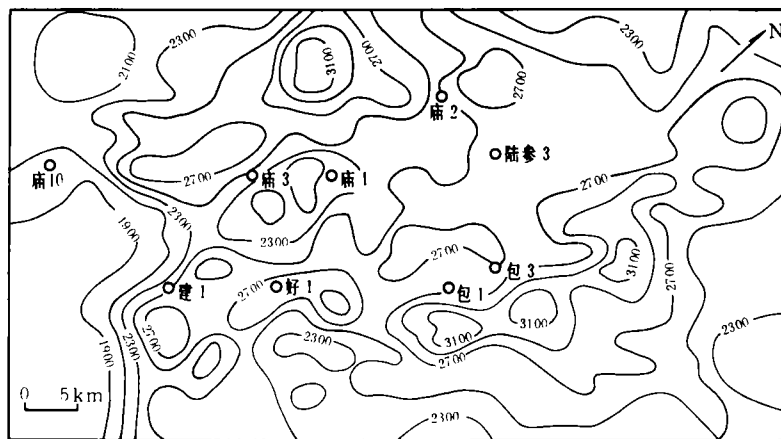


图 1 沙海组( $J_3sh$ )层速度等值线图

从图1可以看出,包日温都断裂构造带、马家铺高垒带及马北斜坡带等边缘地区,层速度值为高值区,速度为2700~3100m/s,最高达3500m/s,而在深洼陷区(如陆参3井附近)为速度相对低值区,一般为2500~2700m/s,西南边缘区为1900~2300m/s。另外在深洼陷最深部位层速度也较高,达3300m/s,说明本区层速度既是深度的函数,又较明显地反映了凹陷内岩性粗细的变化。阜新组和九佛堂组也有类似的分布规律,但速度高值区与低值区的分布范围有所不同。

## 2 砂泥岩量版与压实曲线

为便于与声波测井速度相配合,还要求取与某层段层速度相对应的中点深度。本区根据下式求得顶、底界深度:

$$H=4.17+898.4t+182.5t^2+10.68t^3 \quad (5)$$

式中 $t$ 为测量时间(ms),故该层中点深度为:

$$H_{\text{中}}=\frac{1}{2}(H_{\text{顶}}+H_{\text{底}}) \quad (6)$$

在研究中,计算了2800多个层速度和中点深度值,采用散点法将这些数据作图,得到砂、泥岩量版,并将其内、外包络线作纯泥岩和纯砂岩的速度-深度关系曲线进行了最佳拟合,从而得到纯砂岩和纯泥岩的速度-深度方程:

$$v_s=1646+3.26H+7.47\times 10^{-4}H^2 \quad (7)$$

$$v_m=1226+1.63H-2.15\times 10^{-4}H^2 \quad (8)$$

图2表明,速度随深度增加而增大,泥岩在200~1000m、砂岩在200~1200m层速度变化幅度较大,反映了泥岩和砂岩压实作用明显,在1000~2000m范围内层速度变化较均匀,2000m以下则变化幅度小,说明压实作用逐渐减弱的趋势。深度愈大,砂、泥岩速度的差别也愈大,这为本区利用层速度计算砂、泥岩含量奠定了精度基础。

由于谱算速度随深度增大存在随机误差以及速度分析分辨力的限制,因而上面求得的纯砂岩和纯泥岩的包络线(特别是砂岩)也将存在一定的误差。为了与地震层速度进行比较和验证,我们还制作了包1和陆参3等井及全区的压实曲线。方法是根据声波测井资料和钻井岩电剖面,参考其他测井信息对岩性进行简化分类,并根据解释好的砂、泥岩进行声波采样(张万选等,1988),以每50m为一段求其平均声波时差:

$$\Delta t_s = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (9)$$

$$\Delta t_m = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta t_j h_j}{\sum_{j=1}^m h_j} \quad (10)$$

式中  $\Delta t_s$  和  $\Delta t_m$  分别为砂岩和泥岩的平均声波时差,  $n$  和  $m$  为每 50m 井段中砂岩和泥岩的总层数,  $\Delta t_i$ 、 $h_i$  为第  $i$  层砂岩的声波时差值和厚度,  $\Delta t_j$  和  $h_j$  为第  $j$  层泥岩的声波时差和厚度, 取其倒数得砂、泥岩的平均层速度:

$$\bar{v}_s = \frac{1}{\Delta \bar{t}_s} \quad (11)$$

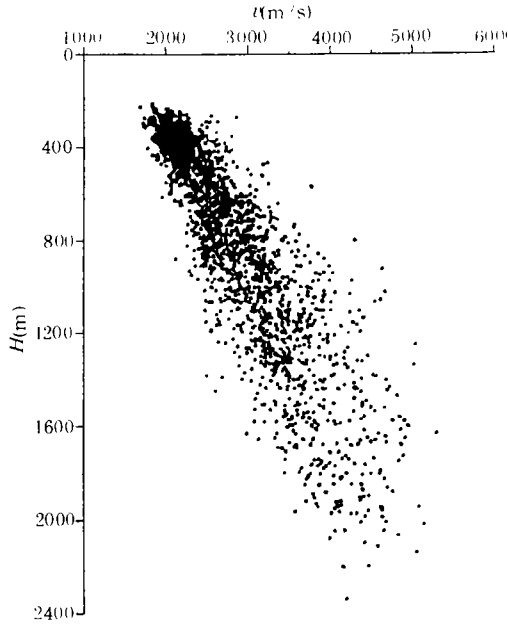


图2 陆西凹陷砂、泥岩量版

$$\bar{v}_m = \frac{1}{\Delta \bar{t}_m} \quad (12)$$

放在该井段的中点深度。

用上述方法制作了陆参3和包1井的压实曲线。陆参3井的压实曲线方程为:

$$v_s = 2044.5 + 2.066H - 5.79 \times 10^{-4} H^2 \quad (13)$$

$$v_m = 1544.5 + 1.23H - 1.68 \times 10^{-4} H^2 \quad (14)$$

包1井为:

$$v_s = 592.3H^{0.266} \quad (15)$$

$$v_m = 519.9H^{0.243} \quad (16)$$

图3、图4为陆参3、包1井和全区的压实曲线,可以看出陆参3井在1000m以上砂、泥岩的界限较明显,1000m以下分界性较差。包1井以600m为界也有类似的特点,在全区的压实曲线上砂、泥岩分界性也不明显。这说明利用压实曲线计算砂岩含量还需要进行校正才能提高精度。

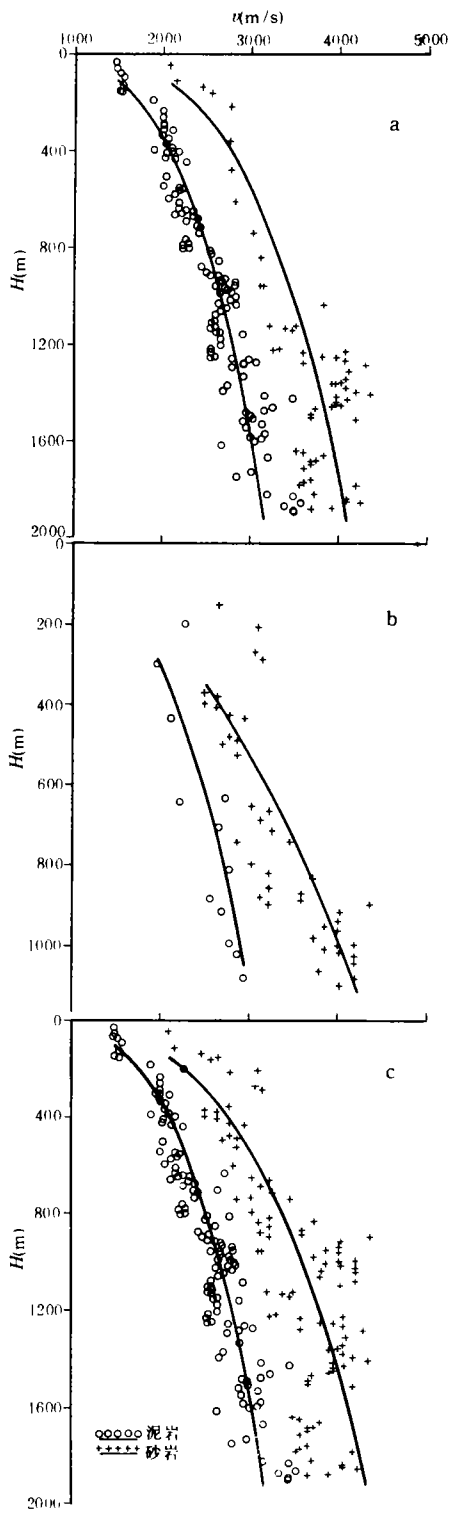


图 3 未校正的砂、泥岩压实曲线

a. 陆参 3 井; b. 色一井; c. 全区

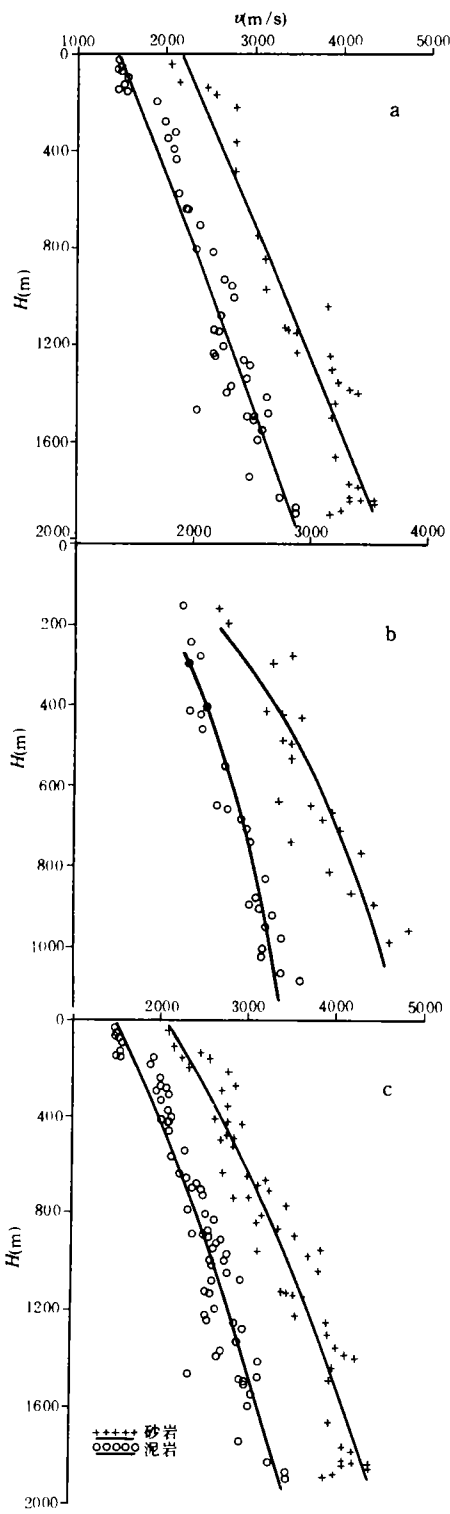


图 4 校正后的砂、泥岩压实曲线

a. 陆参 3 井; b. 色一井; c. 全区

### 3 速度校正及计算砂岩含量

从式(7)、(8)和式(13)、(14)可知,谱算层速度较声波速度要快,且随着深度增加,差别的幅度增大,而声波测井资料求出的综合压实曲线又不能直接用于岩性解释,故必须对压实曲线进行校正。本文采用的校正方法是根据各钻井分层的岩性统计结果(砂岩百分比)与相应井、段的谱算层速度和声波层速度的对应关系,分层段计算砂、泥岩的速度校正值,以使压实曲线尽可能地与谱算速度接近。经校正后的速度方程为:

陆参3井:

$$v_s = 2174.9 + 1.504H - 2.3 \times 10^{-4}H^2 \quad (17)$$

$$v_m = 1495.2 + 1.25H - 1.75 \times 10^{-4}H^2 \quad (18)$$

包1井:

$$v_s = 664.95H^{0.239} \quad (19)$$

$$v_m = 589.26H^{0.217} \quad (20)$$

本区综合压实曲线方程为:

$$v_s = 2116.57 + 1.706H - 3.06 \times 10^{-4}H^2 \quad (21)$$

$$v_m = 1531.05 + 1.388H - 2.41 \times 10^{-4}H^2 \quad (22)$$

校正后的压实曲线如图4所示。

经计算表明,在1000m以上校正后的砂岩谱算速度与声波速度的差值比校正前增大约124~127m/s,而在1000~2200m校正后二者的差值比校正前减小了98~780m/s,且愈往深层,校正后二者的系统误差愈小。泥岩在500~2200m/s内校正后比校正前速度差值也减小了26~40m/s,这说明用校正后的压实曲线计算 $J_3sh$ 及 $J_3jf^1$ 、 $J_3jf^2$ 3层的砂岩含量时,效果会比 $J_3f$ 更好。

利用校正后的综合压实曲线及式(1)可将平滑后的层速度图转换为砂岩百分比图。在实际中,我们计算了 $J_3f$ 、 $J_3sh$ 、 $J_3jf^1$ 和 $J_3jf^2$ 4个层段的砂岩含量,现以 $J_3sh$ 为例说明其特点(图5)。(1)在凹陷的边缘地带,如包日温都断裂带、马家铺高垒带和马北斜坡带,显示砂岩含量高值,一般为40%~60%,有的高达80%,而凹陷中部一般为20%以下。(2)砂岩含量的高值区与地震剖面上的楔形-杂乱或乱岗状地震相有较好的对应关系,砂岩低值区则与席状中振幅连续性平行相对应。(3)砂岩含量的平面分布较好地反映了本区的物源条件,高值区与粗碎屑岩相带吻合都较好,如包日温都构造带的近岸水下扇、马家铺高垒带的滑塌浊积扇和马北斜坡带的三角洲等(图6),而低值区为浅湖-半深湖相。

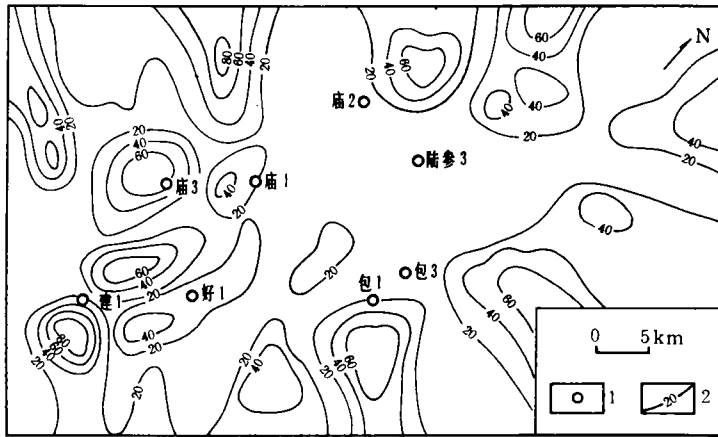


图5 陆西凹陷沙海组砂岩百分比等值线图

1. 井位; 2. 等值

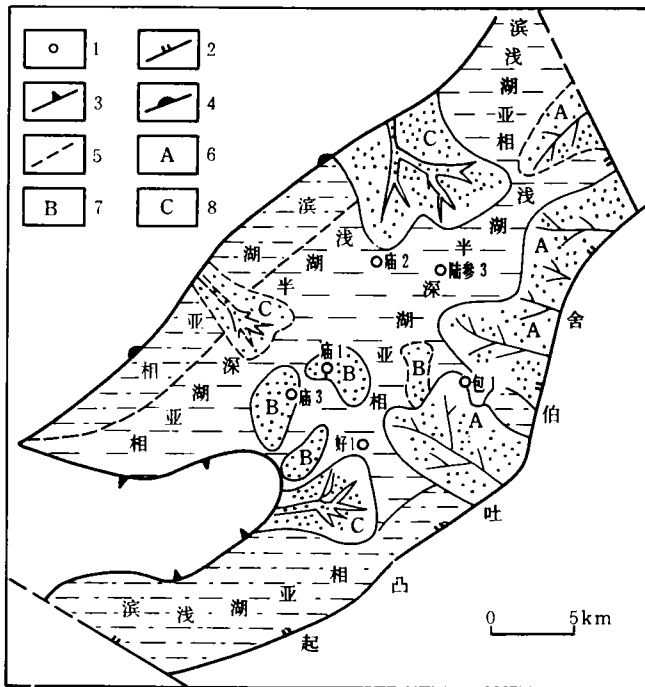


图6 陆西凹陷沙海组沉积相图

1. 井位; 2. 边界断层; 3. 尖灭线; 4. 超覆线;  
5. 推测边界; 6. 近岸水下扇; 7. 滑塌蚀积扇; 8. 扇三角洲

### 4 结束语

(1)利用速度谱资料和声波测井资料计算层速度和砂岩含量能基本上反映凹陷内地层的岩性特征及其变化规律,是勘探初期预测岩性分布的有效途径之一。

(2)本区层速度和砂岩含量的分布与地震相和沉积相带有较好对应关系,砂岩高值区与杂乱或乱岗状地震相、近岸水下扇、滑塌浊积扇等相对应,基本上反映了本区的物源条件。

(3)本区九佛堂组上、下段的砂岩含量在局部地区显示较高值,与地震相和沉积相也有不吻合的现象。其原因一是本区九佛堂组除砂、泥岩和页岩外,还夹有凝灰质砂岩和凝灰质泥岩,其密度大,地震传播速度高,用砂泥岩体积物理模型和式(1)计算砂岩含量必然偏高,二是速度谱的质量及解释误差影响了计算精度。

(4)研究表明,谱算层速度、声波层速度和钻井资料的岩性统计三者有机地配合是提高岩性预测精度的有效方法。

(收稿日期:1994年6月28日)

### 参 考 文 献

- 1 朱筱敏,信葵麟,赵景龙.利用速度谱计算层速度的基本原理及其应用.石油大学学报(自然科学版),1990,14(1):1~7
- 2 张万选,张厚福,曾洪流.陆相断陷盆地区域地震地层学研究.山东东营:石油大学出版社,1988,27~37

## AN INTERVAL VELOCITY ANALYSIS AND LITHOLOGICAL PREDICTION IN THE LUXI DEPRESSION, INNOR MONGOLIA

Zha Ming    Zhang Weihai    Zhu Xiaomin

(*Department of Exploration, University of Petroleum, China*)

Lei Angui    Cang Ruibo

(*Liaohu Bureau of Petroleum Exploration*)

### Abstract

On the basis of abundant data of seismic profiles and velocity spectra, the authors of this paper firstly calculated and analysed the seismic interval velocity and distributive characteristics in the upper Jurassic of the Luxi Depression, Innor Mongolia; then drafted the master curves of sandstones and mudstones in the area. Thereafter, the percentages of sandstones in various intervals are estimated by using acoustostratigraphic smooth and correlation of compactions. Based on the analysis of interval velocity and interpretation of lithology, the correlative relation among the velocity, seismic facies and sedimentary facies could be confirmed and it would provide quantitative basis for predicting favourable facies belts in the study area.