

合成声波测井的薄层响应

俞寿朋*

(石油地球物理勘探局研究院)

摘 要

俞寿朋. 合成声波测井的薄层响应. 石油地球物理勘探, 1995, 30(1): 36~49

合成声波测井是一种由地震反射数据转换成层速度的普遍应用方法。只有在零相位全通子波的情况下, 利用此法才能得到正确反映层速度变化的结果。对于单个界面的响应, 缺乏高频成分使界面清晰度变差; 缺乏低频成分使速度值畸变; 同时缺乏高频和低频成分, 则兼有以上二者的影响。利用简化的界面响应图解可说明单层合成声波测井响应的特征。缺少高频成分对于厚层来说, 只降低界面的清晰度, 而对于薄层来说则会影响层速度和视厚度。缺少低频成分对甚薄层影响很小, 而且随着层厚的增大, 速度畸变也增大, 甚至在层内出现很大的反向速度异常。同时缺少低频和高频成分, 对薄层来说接近于缺少高频的情况, 对于厚层则接近于缺少低频的情况。频带的相对宽度(高截频和低截频的比值)决定速度精度的上限。

主题词 合成声波测井 薄层 响应 高频 低频

ABSTRACT

Yu Shoupeng. Thin-bed response in synthetic acoustic log. OGP, 1995, 30(1): 36~49

Synthetic acoustic log is a widely-used method for converting seismic reflection data into interval velocities. Only in the case of zero-phase all-pass wavelets, can the method offer good interval velocity variations. So far as the response of a single interface, lack of high-frequency contents results in poor clarity of interface, lack of low-frequency contents brings distorted velocities, and lack of both of them causes the above two phenomena. Concise diagram of interface response can show the response feature of single-bed synthetic acoustic log. Lack of high frequency contents only damages the clarity of thick bed, but influences both interval velocity and apparent thickness of thin bed. Lack of low-frequency contents brings little influence on very thin bed; and it causes higher velocity distortion for thicker bed, even terrible inverse velocity anomaly in formation. Lack of both low-frequency contents and high-frequency contents causes the influence on thin bed which is similar to that resulting from lack of high-frequency, but brings the influence upon thick bed which is analogous to that caused by lack of low-frequency contents. The relative width of frequency band (the ratio of high-cut frequency to low-cut frequency) determines the upper limit of velocity accuracy.

Subject heading: synthetic acoustic log, thin bed, response, high frequency, low frequency

* Yu Shoupeng, Geophysical Research Institute, Bureau of Oil Geophysical Prospecting, P. O. Box 11-3, Zhuozhou City, Hebei Province, Postcode: 072750

本文于 1994 年 9 月 26 日收到。

本项目由国家自然科学基金会、中国科学院、中国石油天然气总公司、大庆石油管理局联合资助。

引言

合成声波测井^[1]是一种把地震反射数据转换成声波测井曲线的普遍使用方法。此法所得到的实际上是声阻抗曲线。当岩石的密度变化很小的情况下,声阻抗与速度近于成正比。因此在勘探实践中习惯于用速度而不用声阻抗来表达这种处理的结果。

设某个界面上下介质中的地震波传播速度分别为 v_i 和 v_{i+1} , 密度没有差别, 则法向反射系数为

$$r_i = \frac{v_{i+1} - v_i}{v_{i+1} + v_i} \quad (1)$$

由此可得到

$$v_{i+1} = v_i \frac{1 + r_i}{1 - r_i} \quad (2)$$

当 $|r_i| \ll 1$ 时, 式(2)可近似表达成

$$v_{i+1} = v_i e^{2r_i} \quad (3)$$

根据式(3)可由已知的第1层速度 v_1 推知任何一层的速度

$$v_{k+1} = v_1 \exp\left(2 \sum_{i=1}^k r_i\right) \quad (4)$$

若把经过反褶积的地震数据看作是法向入射时的反射系数序列 r_i , 于是就可以通过式(4)完成合成声波测井的推算。

合成声波测井剖面与普通地震剖面相比, 有两点重要的区别:

- (1) 普通地震剖面的研究对象是界面, 而合成声波测井剖面研究的对象是地层;
- (2) 普通地震剖面只要求保持振幅的相对变化, 而合成声波测井剖面则要求通过标定得到层速度的定量数值, 以便据此推断岩性、孔隙率、含油气情况和地层压力等。

有一种做法, 只对反褶积后的地震数据作时间方向的积分, 由式(4)可知, 此时得到的是

$$\sum_{i=1}^k r_i = \frac{1}{2} \ln \frac{v_{k+1}}{v_1} \quad (5)$$

其量纲是层速度的对数。此积分道曲线与层速度曲线有相似的特征, 因此在分析合成声波测井的特性时, 可以简便地使用积分道作为依据。

在本文中, 认为已得到了法向入射的反射剖面^[2], 但反褶积后的记录仍然是频带有限的, 并认为子波已经零相位化。

已有一些著作指出了合成声波测井曲线的特征^[3~5], 这里对这个问题作更系统的分析。

合成声波测井的单位界面响应

我们先讨论一个界面的情况。为了方便, 把时间坐标原点选在界面位置上, 并令反射系数为单位值。下面讨论几种不同频带范围的子波。

全通子波(AP)

此时子波

$$W_{AP}(t) = \delta(t) \quad (6)$$

为单位冲激函数。积分结果为

$$Z_{AP} = u(t) \quad (7)$$

即单位阶跃函数。它能精确地反映界面位置和其两侧的速度关系,是理想的声波测井结果(图 1a)。

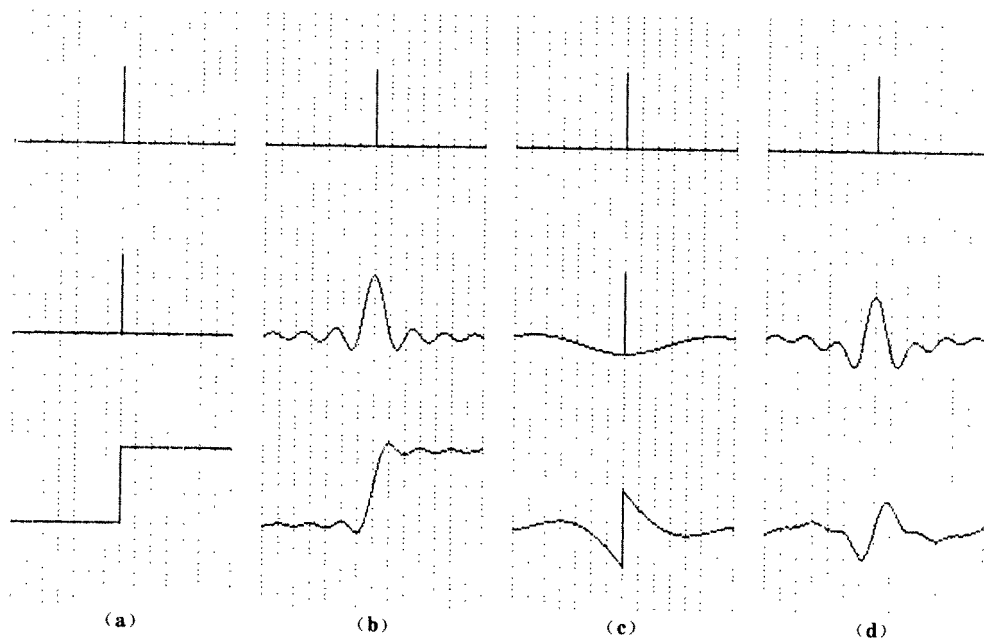


图 1 不同频带子波的单个界面合成声波测井响应

(a)为全通子波(AP)情形;(b)为截频 50 Hz 的低通子波(LP)情形;(c)为截频 12.5 Hz 的高通子波(HP)情形;(d)为 12.5~50 Hz 的带通子波(BP)情形。从上到下依次为反射系数、合成记录和合成记录积分结果

低通子波(LP)

此时缺少高于截频 f_{HC} 的频率成分,子波为

$$W_{LP}(t) = 2f_{HC}\text{sinc}(2\pi f_{HC}t) \quad (8)$$

子波在 $t=0$ 时为极大点,其两侧两个过零点的时间为

$$t_{z1} = -\frac{1}{2f_{HC}} \quad (9)$$

和

$$t_{z2} = \frac{1}{2f_{HC}} \quad (10)$$

即主瓣宽度为

$$T_B = t_{z2} - t_{z1} = \frac{1}{f_{HC}} \quad (11)$$

对式(8)所示的子波积分,得到

$$Z_{LP}(t) = \int_{-\infty}^t W_{LP}(t)dt = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\text{Si}(2\pi f_{HC}t) \quad (12)$$

其形状如图 1b 所示。此图表明,缺失高频成分的结果损失了界面的清晰度。在界面位置上层

速度曲线不具备阶跃特征,而变成一个斜坡,斜坡宽度恰好等于子波主瓣宽度,即等于 $1/f_{\text{HC}}$ 。因此截频 f_{HC} 越高,斜坡段长度越短,界面越清晰。由于子波的主瓣宽度与截频 f_{HC} 成反比,而主极值的幅度又与 f_{HC} 成正比,所以主瓣的面积与 f_{HC} 无关,且等于 1.18。因此层速度曲线的斜坡上升幅度也与截频 f_{HC} 无关,且为 1.18,略高于单位值。但斜坡两侧的速度平稳段之间的差值为单位值。

在图 2a 中我们把全通子波与低通子波情况下的积分道画在一起,可以看出二者的差别。

高通子波(HP)

此时缺失低于截频 f_{LC} 的频率成分,子波为

$$W_{\text{HP}}(t) = \delta(t) - 2f_{\text{LC}}\text{sinc}(2\pi f_{\text{LC}}t) \quad (13)$$

式(13)实际上表示全通子波与截频为 f_{LC} 的低通子波之差。对此子波积分得到

$$Z_{\text{HP}}(t) = u(t) - \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\text{Si}(2\pi f_{\text{LC}}t) \quad (14)$$

这是上升的单位阶跃函数与宽度为 $1/f_{\text{LC}}$ 的下降斜坡之和,其斜坡的下降幅度与阶跃函数的上升幅度相当,积分道仍保持阶跃特性。因此缺失低频成分并不影响界面的清晰度,但界面两侧的层速度值受到严重的歪曲(图 1c)。

在图 2b 中我们把全通子波与高通子波情况下的积分道画在一起,可以看出二者的差别。高通子波的积分道在界面处的速度不是由 0 跃变到 1,而是由 $-1/2$ 跃变到 $1/2$,在离开界面超过 $1/2f_{\text{LC}}$ 处, $Z_{\text{HP}}(t)$ 趋近于零。

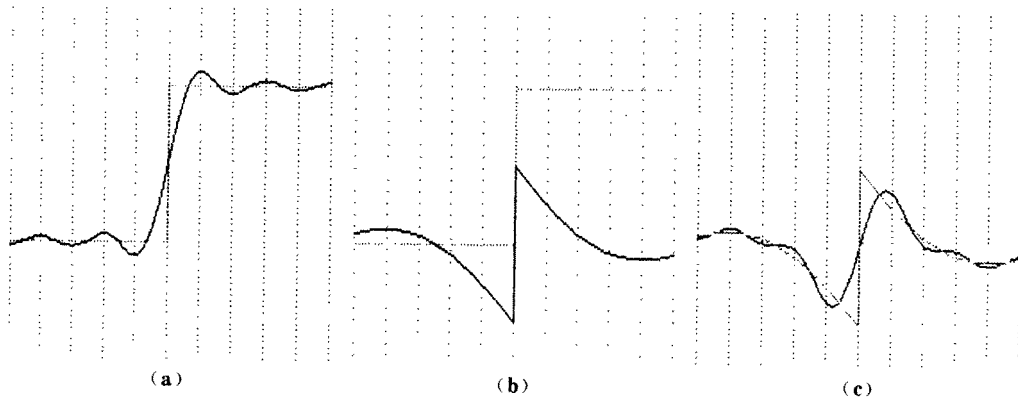


图 2 不同频带子波的单个界面合成声波测井的比较

(a)全通(虚线)与低通(实线)子波情况比较;(b)全通(虚线)与高通(实线)子波情况比较;(c)高通(虚线)与带通(实线)子波情况比较;频带参数与图 1 相同

带通子波(BP)

此时缺失了低于截频 f_{LC} 和高于截频 f_{HC} 的频率成分,子波为

$$W_{\text{BP}}(t) = 2f_{\text{HC}}\text{sinc}(2\pi f_{\text{HC}}t) - 2f_{\text{LC}}\text{sinc}(2\pi f_{\text{LC}}t) \quad (15)$$

由此可得到主瓣宽度

$$T_{\text{B}} = \frac{1}{f_{\text{LC}} + f_{\text{HC}}} \quad (16)$$

对此子波沿时间方向积分得到

$$Z_{\text{BP}}(t) = \frac{1}{\pi}[\text{Si}(2\pi f_{\text{HC}}t) - \text{Si}(2\pi f_{\text{LC}}t)] \quad (17)$$

上式表示两个正弦积分函数之差,而正弦积分函数具有带斜坡上升的台阶形状,它们之差抵销了台阶的幅度,只留下了斜坡的特征,形成一个缓慢下降斜坡(与低截频 f_{LC} 有关)背景上的上升斜坡(与高截频 f_{HC} 有关)。其图形如图 1d 所示。

在图 2c 中我们把高通子波与带通子波情况下的积分道画在一起,二者的低截频是相同的。可以看出,实线 $Z_{BP}(t)$ 围绕虚线 $Z_{HP}(t)$ 摆动,有类似于图 2a 中实线 $Z_{LP}(t)$ 围绕虚线 $Z_{AP}(t)$ 摆动的特点,都表示了缺失高频的影响。由于缺失高频, $Z_{BP}(t)$ 在界面处是一个斜坡,斜坡上升幅度小于 $Z_{HP}(t)$ 的跃变幅度,这是因为缺失低频而形成的下降斜坡背景引起的。子波主频越低,上升斜坡越缓,上升幅度越小。

带通子波情况最接近于实际情况。上述讨论表明:缺失高频降低界面的清晰度;缺失低频引起界面两侧层速度偏置并且不能维持常数值;同时缺失高频和低频,除上述各自的效应外,还使层速度的变化幅度减小。

一个层的顶底反射分离的情况

上面已讨论了单个界面的合成声波测井响应的一些性质,在进入本文的主题薄层响应讨论之前,先观察一下厚层的响应,即层的顶底反射能够分离的情况。

假设层的顶底反射系数符号相反而大小相等,并认为层内多次反射可以忽略,于是认为一个层的合成声波测井响应就是两个符号相反的界面合成声波测井响应之和。

图 3 是与图 1 相对应的四种子波的厚层响应。图 3a 是全通子波情况,合成声波测井可得到理想的结果,是一个箱状函数。图 3b 表明缺失高频的子波情况,合成声波测井的顶底界面清

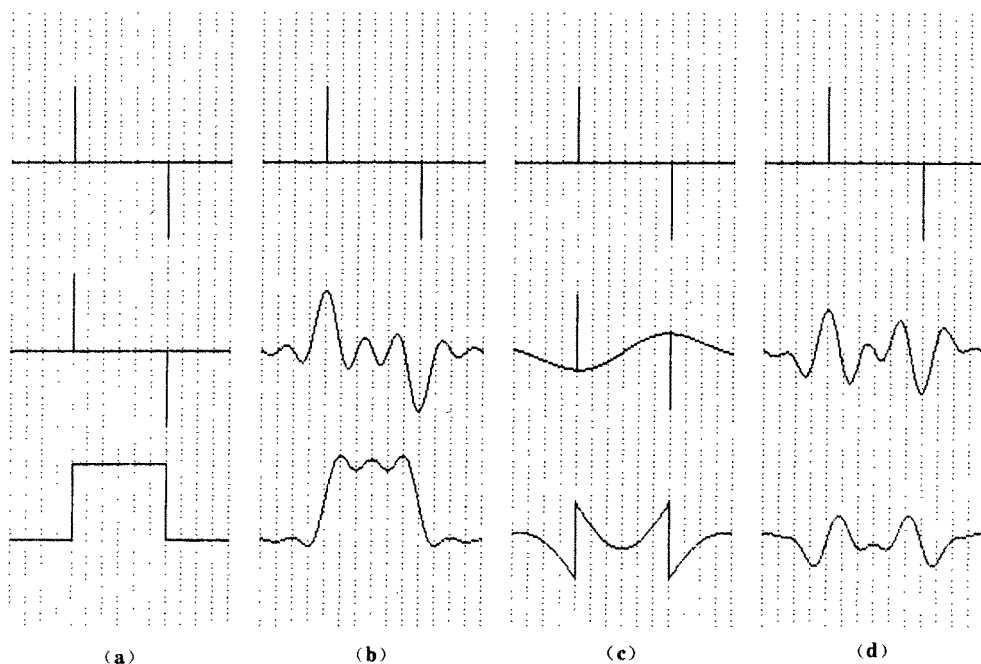


图 3 不同频带子波情况下的厚层合成声波测井响应

图中的排列次序与图 1 相同

晰度降低,变成一个近于梯形的形状。梯形两腰的中点分别是层的顶面和底面的位置,由两个中点的间距可确定层的厚度,梯形的高反映了层速度的异常。图 3c 说明缺失低频的子波情况,合成声波测井保持了界面的清晰性,但速度值发生严重畸变,出现一个很宽的反向速度异常背景。这个背景不仅改变了层的两侧的速度,还改变了层内部的速度。若真实速度异常为 $0, 1, 0$ 形式,则此时合成声波测井的速度为 $0, -0.5, 0.5, 0, 0.5, -0.5, 0$ 形式。此形式给人的感觉不象一个厚层而象薄互层。图 3d 是带通子波的情况。合成声波测井形状比图 3c 更为复杂。层的顶底界面由于缺失高频而受到损害,速度值的畸变也由于缺失低频而十分严重。总体形态不象一个厚层而象薄互层。

由此可以看出,对于普通地震剖面来说,图 3 中的合成记录不论哪种子波都已能很好分辨层的顶底反射,即对于这种地层,厚度分辨率是良好的。但良好的分辨率并不能保证合成声波测井有满意的效果。只有不缺失低频成分的情况下,才能有好的效果,象图 3a 和图 3b 那样。

图 4 是几种子波情况的厚层合成声波响应的两两比较,与图 2 的界面响应是对应的。

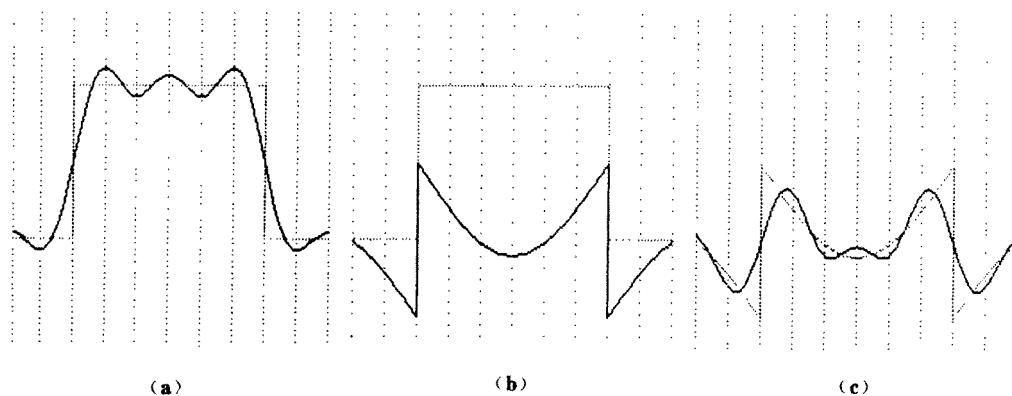


图 4 不同频带子波的厚层合成声波测井的比较

图中排列次序与图 2 相同

低通子波情况下的薄层响应

现在讨论合成声波测井的薄层响应问题。首先讨论低通子波情况。

从这里开始我们把界面的合成声波测井响应加以简化,以使用简单的图解方法迅速掌握薄层响应的基本性质。

由图 1b 可见,低通子波情况下的合成声波测井响应可用折线来近似,它由三个直线段组成。如图 5a 所示,自左至右这三个直线段依次称为 A、B、C。A 段是水平基线。B 段是倾斜直线段,其斜率采用理论合成声波测井曲线斜率最大点(刚好在界面位置上)的斜率。由式(8)可知,此斜率为 $2f_{HC}$ 。B 段纵向高度为 1,横向宽度为 $1/2f_{HC}$,按式(11)等于 $T_B/2$,即子波主瓣宽度的一半。C 段也是水平直线段。

图 6 是用图 4a 的简化界面响应图解的薄层合成声波测井响应,用以了解其基本特征。

图 6a 是双程时间厚度 T_D 大于斜坡宽度 $T_B/2$ 的情况,上部图中粗线表示顶面的响应,细线表示底面的响应,阴影部分为二者之差。下部图是层的合成声波测井响应。合成声波测井响

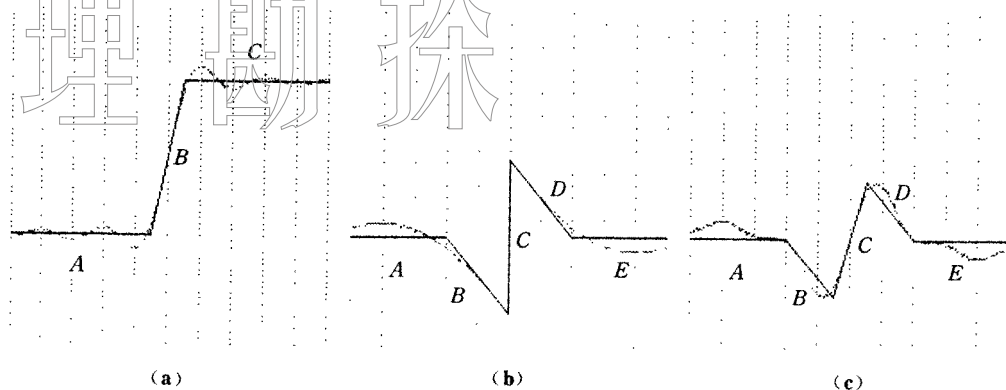


图 5 不同频带子波情况下的合成声波测井界面响应的简化图解
虚线表示理论响应,实线表示简化响应。图中的排列次序与图 2 相同

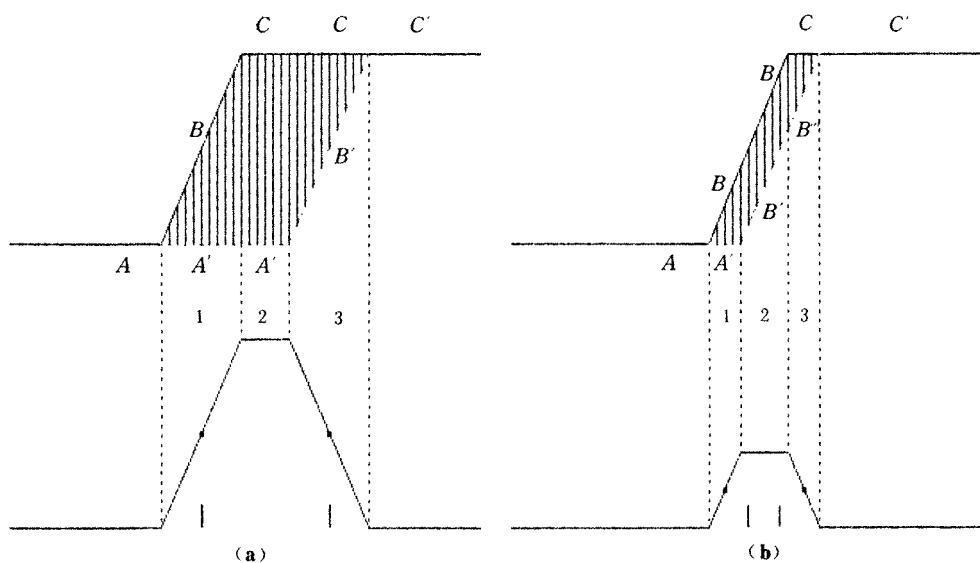


图 6 低通子波情况下的薄层简化合成声波测井响应的图解

下部图中的圆点表示梯形两腰的中点,最下方的两条短竖线表示层的顶界和底界位置。(a) $T_D > T_B/2$; (b) $T_D < T_B/2$

应除两端的水平基线外,由三段直线组成一个梯形。这三条直线段我们可称为三个区间,依次编号为 1,2,3。

区间 1 由顶界 B 段与底界的 A' 段(底界的简化响应段名上都加撇,以示区别)相减形成,其宽度就是 B 段的宽度,此区间的中心即为 B 段的中心,为顶界位置;区间 2 由顶界 C 段与底界 A' 段相减形成,其宽度与层厚有关,高度为单位值,即反映了层的速度异常;区间 3 由顶界 C 段与底界 B' 段相减形成,与区间 1 对称。

因此 $T_D > T_B/2$ 时可反映厚度和速度,仅界面清晰度变差。图 6a 是图 3b 的简化表示。

图 6b 是层的双程时间厚度 T_D 小于斜坡宽度 $T_B/2$ 的情况。它与图 6a 的区别是:①区间 1 的宽度小于顶界 B 段的宽度,因此其中心不代表 B 段的中心,即不代表界面位置;②区间 2 顶界 B 段与底界 B' 段相减形成,因此幅度小于单位值,且与厚度成正比;③区间 3 与区间 1 对

称。因此,当 $T_D < T_B/2$ 时,不能正确反映层的厚度和速度。梯形两腰中点间距永远等于 B 段宽度而不等于层的厚度。

由此可见,薄层是指双程时间厚度小于子波主瓣宽度一半的层。

在图 13 中画出了四种不同频带的子波情况下的薄层合成声波测井响应。这个图与图 4 厚层情况结合在一起可以看出不同层厚的响应变化。图 13b 是低通子波情况下的薄层响应。由图可见,层厚达到 $0.5T_B$ 时层的视厚度和速度异常都基本正确。层厚减小时异常幅度减小,而视厚度保持不变。这与简化响应曲线的分析结果一致。

图 7 是用图 1b 的界面响应计算的低通子波情况下的合成声波测井调谐曲线。图中的视厚度是根据合成声波测井界面附近的极大点与极小点的中点计算的。其相对幅度有两条曲线,幅度较大的一条代表从极大点到极小点的幅度差;幅度较小的一条代表层中心位置的幅度。前者在厚层情况下比 1 大些,后者则基本上在 1 附近,二者差别不太大。

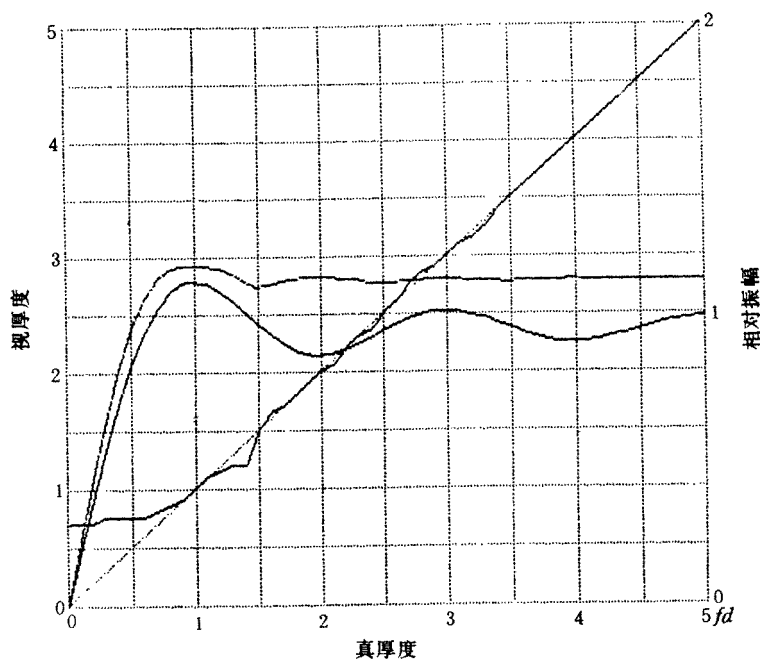


图 7 低通子波情况下的合成声波测井的调谐曲线

厚度用无量纲的 fd 表示,此图 f 为文中的 f_{HC} , d 为文中的 T_D

图中 $fd < 0.5$ 时,即 $T_D < T_B/2$ 时,视厚度无变化,而幅度与厚度呈近似线性关系。这与简化响应分析结果一致。当 fd 在 0.5 至 1 的范围内是过渡区,简化响应的分析很难描绘其细节。当 $fd > 1$ 时,视厚度接近于真厚度,幅度也接近于 1,属于厚层情况。

高通子波情况下的薄层响应

图 1c 的高通子波情况下的界面响应也可用折线来近似,如图 5b 所示。折线由五个直线段组成,自左向右依次为 A 、 B 、 C 、 D 、 E 。其中 A 和 E 是水平基线; C 段是铅垂线段,由 $-1/2$ 跃变到 $1/2$; B 和 D 分别是连接 A 与 C 和连接 C 与 E 的倾斜线段,其斜率为 $-2f_{LC}$, B 段和 D 段的

宽度都是 $1/4f_{LC}$ 。

图 8 是用图 5b 的简化界面响应图解的薄层合成声波测井响应。由图可以看出,层厚变化不影响顶底界面的清晰度。因此对于高通子波情况来说,很难定出一个划分薄层与厚层的界限。这种情况有点与全通子波的情况类似。但我们发现,当层的双程时间厚度小于 $1/4f_{LC}$ (即 B 段宽度) 和大于 $1/4f_{LC}$ 时,层内部的速度特征有明显的差别,前者层内速度保持一个常数,后者则有明显的速度下陷。

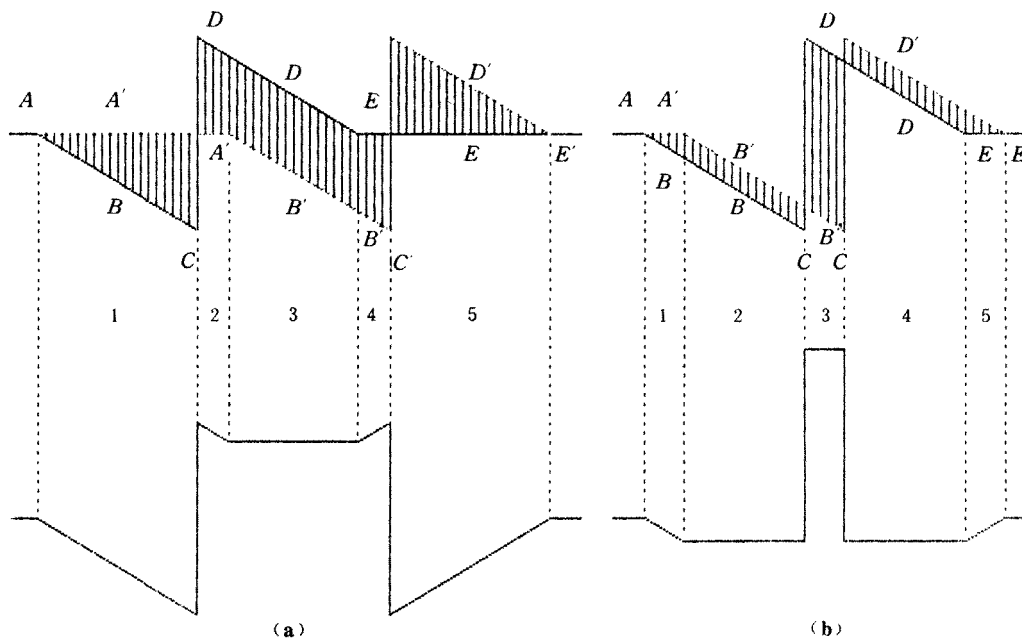


图 8 高通子波情况下的薄层简化合成声波测井响应的图解

(a) $T_D > 1/4f_{LC}$; (b) $T_D < 1/4f_{LC}$; 其它与图 6 相同

图 8a 是层的双程时间厚度 T_D 大于 B 段宽度 $1/4f_{LC}$ 的情况,除两端水平基线和代表界面的铅垂线段外,可分成五个区间:①区间 1 与 B 段相同,与厚度无关;②区间 2 与区间 1 之间的跃变幅度为 1,区间 2 的宽度随层的厚度增大而增大,区间 1 和区间 2 的总宽度刚好等于层的厚度;③区间 3 由顶界 D 段与底界 B' 段相减形成,此段幅度是常数,且等于 $1 - 2f_{LC}T_D$;④区间 4 和区间 5 与区间 2 和区间 1 对称。

此时简化合成声波测井在层内部出现速度下陷,且层厚越大,下陷越多;当层厚 $T_D = 1/2f_{LC}$ 时,层中心位置降至零值。

图 8b 是层的双程时间厚度 T_D 小于 B 段宽度 $1/4f_{LC}$ 的情况。此时也可分成五个区间:①区间 1 的宽度等于层的厚度;②区间 2 由顶界 B 段与底界 B' 段相减形成,幅度是常数,且等于 $-2f_{LC}T_D$;③区间 3 与区间 2 之间跃变量为 1,在区间 3 内部,幅度为常数,且等于 $1 - 2f_{LC}T_D$;④区间 4 和 5 对称于区间 2 和 1。

与图 8a 的情况不同,在图 8b 中,层内只涉及一个区间(区间 3),而图 8a 中,层内包含三个区间(2,3,4)。

不论图 8a 和图 8b,在顶底界面上的跃变量均为 1,层中心的幅度都是 $1 - 2f_{LC}T_D$,即随着

层厚增大,中心幅度减小。

由图13c和图4c结合起来,可看出高通子波情况下不同厚度的合成声波测井都清晰地反映了层的厚度,异常幅度的跃变量相同,而幅度绝对值则随厚度增大而减小,到一定厚度时出现层内下陷现象。这些与简化响应分析结果一致。

图9是高通子波情况下的合成声波测井调谐曲线。这个图中除了视厚度曲线外,画了三条幅度曲线。幅度最大的是从波峰到波谷的总幅度,是一个不随厚度变化的常量;幅度小一些的一条是波峰幅度;最小的一条(细线)是层中心位置的幅度。可以看出,在 $fd \geq 0.25$ (即 $T_D > 1/4f_{LC}$)时与波峰幅度出现了差别,即出现图3c那样的中心下陷现象;在 $fd > 0.5$ 处,中心幅度在零附近摆动。这些都与简化图解得到的结论一致。

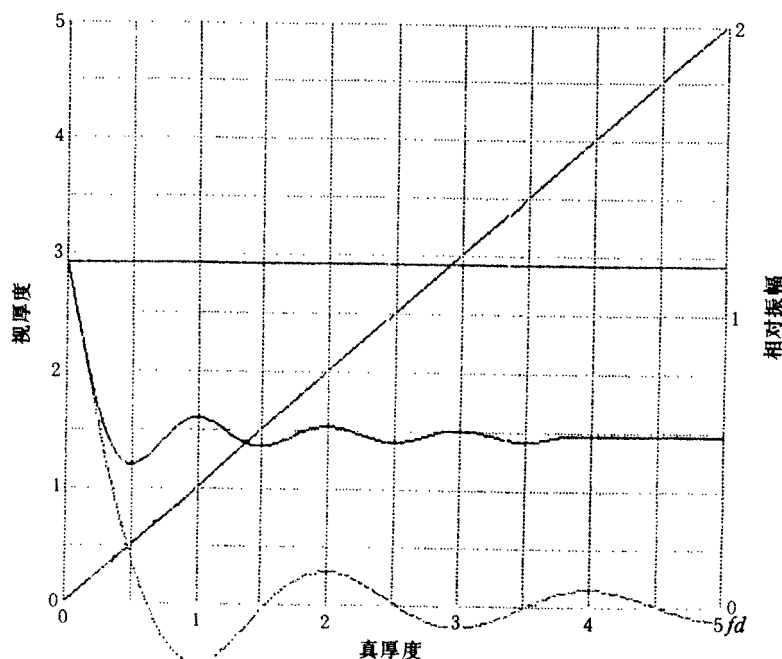


图9 高通子波情况下的合成声波测井的调谐曲线

此图中的 f 为文中的 f_{LC} , d 为文中的 T_D

带通子波情况下的薄层响应

图1d的带通子波情况下的界面响应可简化成图5c所示的折线。它是由两个图5a形状的低通子波界面响应相减得到的,即截频为 f_{HC} 的低通子波响应减去截频为 f_{LC} 的低通子波响应。相减后得到的简化响应与高通子波情况下的图5b有些相似,只是现在C段是倾斜直线段而不是铅垂直线段。图中B、C、D三段的总宽度为 $1/2f_{LC}$,C段的宽度为 $1/2f_{HC}$,因此B段和D段的宽度都是 $1/4f_{LC} - 1/4f_{HC}$ 。B段和D段的斜率是 $-2f_{LC}$,C段的斜率是 $2f_{HC} - 2f_{LC}$,在实际工作中常遇到的是 $f_{HC} > 3f_{LC}$ 的情况,此时C段宽度小于B段或D段宽度,而斜率的绝对值以C段为最大。下面的图解是以 $f_{HC} = 4f_{LC}$ 为例进行的。

图10是两种层厚的简化薄层响应图解。图10a和图10b的简化薄层响应曲线形状都是

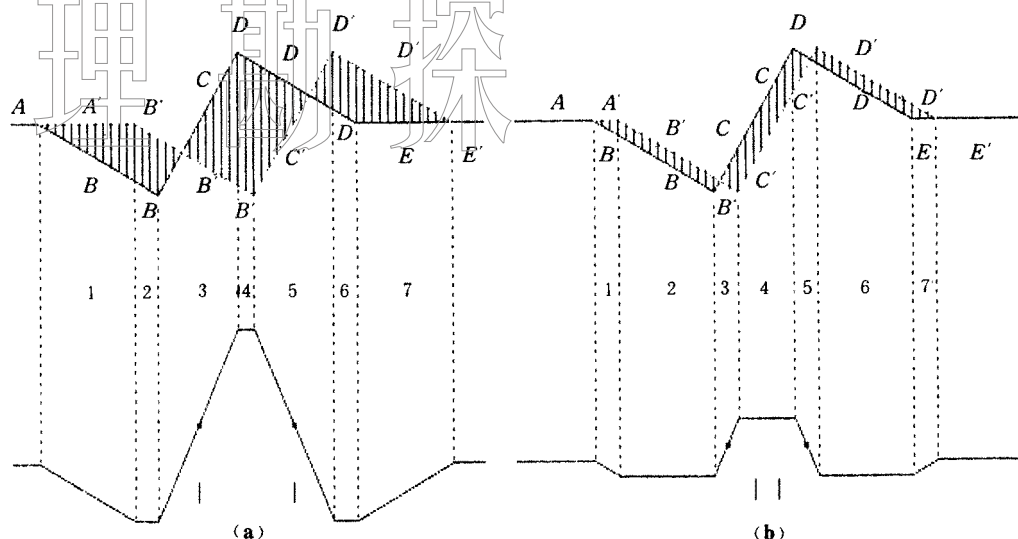


图 10 带通子波情况下的薄层简化合成声波测井响应的图解之一

(a) $\frac{1}{4f_{LC}} - \frac{1}{4f_{HC}} > T_D > 1/2f_{HC}$, (b) $T_D < 1/2f_{HC}$; 其它与图 6 相同

低谷背景上的梯形,但二者有重要的实质性区别。图 10a 中梯形两腰(区间 3 和 5)与顶界和底界的 C 段位置一致,因而两腰中点的间距就是层的厚度;而图 10b 中梯形两腰的宽度只占顶界和底界 C 段的一部分,两腰中点的间距,即视厚度恒等于 C 段的宽度 $1/2f_{HC}$,而不反映层厚。因此,层厚小于 $1/2f_{HC}$ 时,视厚度大于真厚度,且等于 $1/2f_{HC}$;层厚度大于 $1/2f_{HC}$ 时,视厚度等于真厚度。

梯形相对高度在图 10a 中为一固定值,但随着层厚加大而低谷逐渐下沉,因此梯形的绝对高度随层厚加大而减小,这是缺失低频成分引起的结果。在图 10b 中相对高度随层厚增大而增大,虽然层厚加大时低谷也下沉,但相对高度的增加值要大于下沉值,因此梯形的绝对高度还是随层厚增大而增大。因此,层厚小于 $1/2f_{HC}$ 时,层的合成声波测井不反映实际速度,而只反映厚度;层厚大于 $1/2f_{HC}$ 时,合成声波测井反映带偏置的实际速度,并且层厚越大,偏置越大。

实际上图 10a 只是层厚大于 $1/2f_{HC}$ 而小于 $1/4f_{LC} - 1/4f_{HC}$ 的情形(即大于 C 段宽度而小于 B 段宽度的情形),层厚继续增大,还会出现更复杂的现象。

图 11a 是层厚大于 $1/4f_{LC} - 1/4f_{HC}$ 而小于 $1/4f_{LC} + 1/4f_{HC}$ 的情形(即大于 B 段宽度而小于 B+C 段宽度的情形),此时我们发现梯形的腰变成折线(见区间 2,3 或区间 5,6),于是腰的半幅点(图中小黑点)和腰的半宽点(图中铅垂短钱处)有差别,后者可代表实际层厚,而据前者得到的视厚度小于实际厚度,梯形的相对高度或绝对高度都随层厚加大而减小。

图 11b 是层厚大于 $1/4f_{LC} + 1/4f_{HC}$ 的情形,即大于 B+C 段宽度的情形,此时梯形两腰是直线,据此可得到与真厚度一致的视厚度,但梯形顶部出现下陷现象,与图 3d 下部的图形相似。这时的问题是能不能认定这是一个层还是几个层的问题,如果不能认定是一个层,则视厚度的正确性就无从谈起。腰的相对高度是常数,不随层厚变化而变化,层的中心绝对幅度则随层厚增大而减小。

图 12 是用理论的界面响应(图 1d 下)计算的调谐曲线。图中 45° 直线为视厚度与真厚度一

致的参考线,围绕它的较粗的线是视厚度曲线,在厚度很小时视厚度大于真厚度且近于常数,厚度增大时与真厚度接近,然后有一个视厚度小于真厚度的区间,随后视厚度与真厚度基本一致,但此时出现了能否认定是单层的问题。

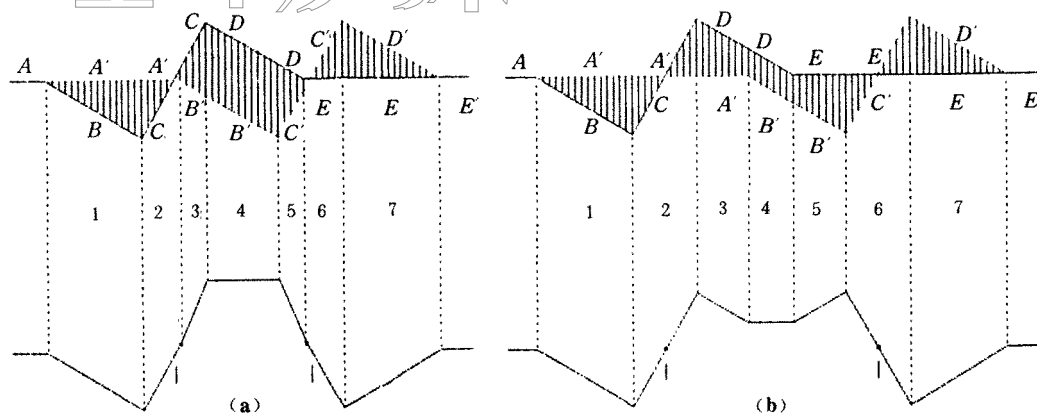


图 11 带通子波情况下的薄层简化合成声波测井响应的图解之二

$$(a) \frac{1}{4f_{LC}} - \frac{1}{4f_{HC}} < T_D < \frac{1}{4f_{LC}} + \frac{1}{4f_{HC}}; (b) \frac{1}{4f_{LC}} + \frac{1}{4f_{HC}} < T_D < \frac{1}{2f_{LC}}$$

图中的幅度画了三条线,幅度最大的是从波谷到波峰的相对幅度,幅度最小的是层中心从零基线起算的中心绝对幅度,在二者之间的是最大波峰的绝对幅度。在 fd 大于 1.5 处,中心幅度与波峰幅度分开,即出现是否能认定属单层的问题。

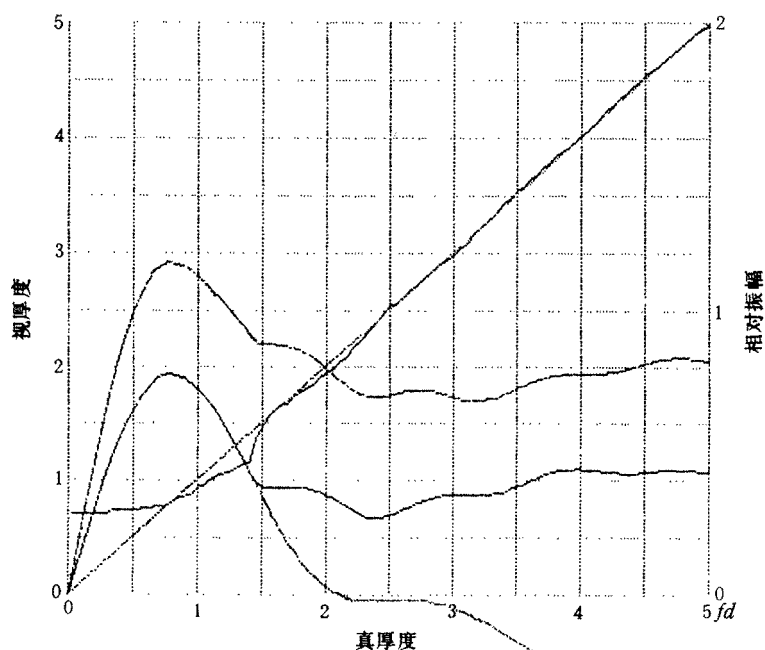


图 12 带通子波情况下的合成声波测井调谐曲线
厚度用无量纲的 fd 表示,此图 f 为文中的 f_{HC} , d 为文中的 T_D

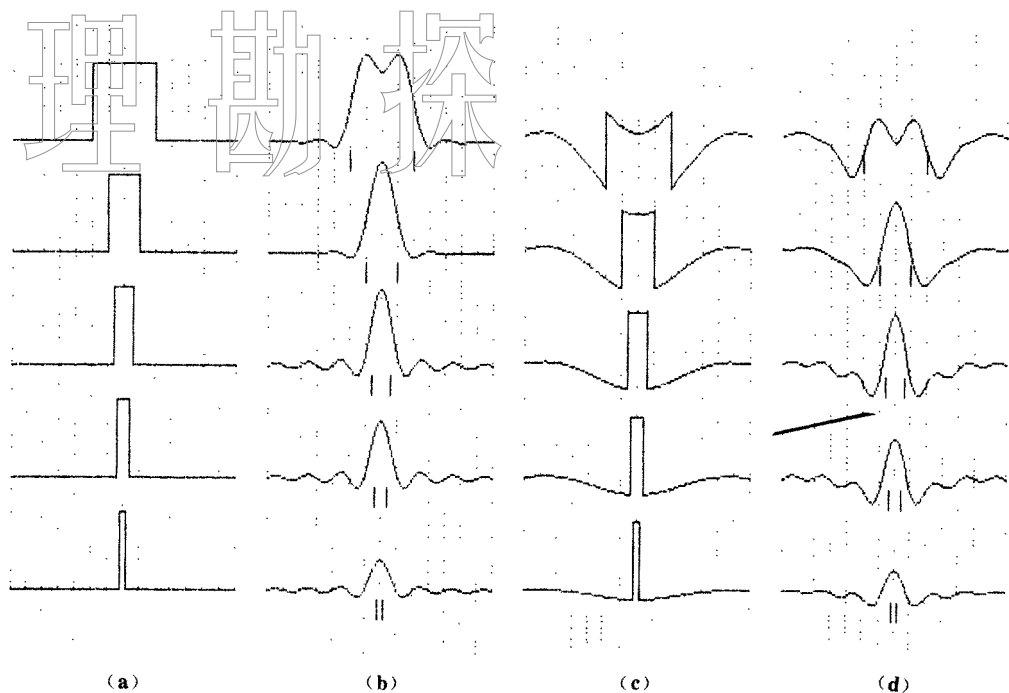


图 13 不同频带子波情况下的薄层合成声波测井响应
(a)~(d)的次序同图 3

结 论

前面讨论了地震记录缺乏高频成分、缺乏低频成分,以及既缺乏高频成分又缺乏低频成分时对合成声波测井的影响。我们使用了简化响应的图解方法,便于清楚地说明其基本特点。在图 13 中我们再用理论子波计算几种厚度的薄层的合成声波测井响应,以便参照。此图与图 3 的厚层情况结合在一起可得到层厚变化影响的较完整的概念。

本文得到的一些基本看法是:

(1)子波缺乏高频成分的影响为:①界面清晰度降低,在层面处没有尖锐的跃变而呈斜坡形状,这个特性与层的厚度无关;②薄层的视厚度大于真厚度,幅度(速度异常)偏小,层越薄,影响越严重。厚度大于 $1/2f_{\text{HC}}$ 时此影响基本消失。

(2)子波缺乏低频成分的影响为:幅度有反向低频背景,因而幅度绝对值偏小,层厚越大,影响越严重,幅度相对误差约为 $2f_{\text{LC}}T_{\text{D}}$,当层厚度大于 $1/4f_{\text{LC}}$ 时甚至会将单层分成几层。

(3)子波既缺乏高频成分又缺乏低频成分则兼有上述两条所列的全部问题,因而既不能正确反映薄层,又不能正确反映厚层。频带越窄(指 $f_{\text{HC}}/f_{\text{LC}}$ 比值越小),问题越严重。

(4)对于给定层厚 T_{D} 和允许幅度相对误差 c 的情况,子波频带范围应满足

$$\frac{1}{2f_{\text{HC}}} \leq T_{\text{D}} \leq \frac{c}{2f_{\text{LC}}}$$

关系。当 $f_{\text{HC}}/f_{\text{LC}}$ 比值较小时,只有用很大的 c 值才能使此关系式成立。

(5)当上式取等号时,得到

$$c = \frac{f_{LC}}{f_{HC}}$$

即频带范围决定了最小的幅度相对误差 c 。这里误差是与全通子波相比而言的,实际工作的标定对误差有所照顾,是另一回事。

(6)实际记录子波是带通的。如果从其它途径引入低频信息,则问题可以有所缓解,此时主要关键是高频成分问题,只要层厚 $T_D \geq 1/2f_{HC}$,或高截频 $f_{HC} \geq 1/2T_D$ 就可得到较好的效果。

参 考 文 献

- 1 Lindseth R O. Sythetic sonic logs—A process for stratigraphic interpretation. *Geophysics*, 1979,44(1):3~26
- 2 蔡希玲,俞寿朋. 拟合零炮检距剖面与分辨率. 石油地球物理勘探,待发表
- 3 Waters K H. *Reflection Seismology—A Tool for Energy Resource Exploration*, John Wiley & Sons, New York, 1978
- 4 俞寿朋. 高分辨率地震勘探,石油工业出版社,1993
- 5 李庆忠. 走向精确勘探的道路,石油工业出版社,1993

· 消息 ·

“南海莺琼盆地天然气富集条件及寻找大中型气田勘探目标选择”研究成果在湛江通过鉴定验收

由南海西部石油公司独立承担的 9 个四级课题及由海洋石油研究中心、中科院、国家地震局、中国地质大学等单位 and 院校分别承担的 15 个四级课题于 1994 年 11 月 11 日~14 日在湛江南海西部石油公司通过了鉴定验收。

参加这次鉴定验收的代表 18 名。会议聘请了我国石油地质界老专家、教授 12 人组成了鉴定验收组,由李清生、翟光明、龚再升为总负责人。

24 个四级课题已完成 23 个,其中 14 个已通过部级鉴定验收,剩下 9 个在这次鉴定会上验收。专家们通过听取研究成果介绍,详细查看科研报告和合同任务书,分组进行评审讨论,最后同意 8 个四级课题成果予以验收,另外 1 个课题成果因资料不全待下次验收。

这 8 个课题成果分别是:①天然气地震勘探方法——高分辨率地震;②莺—琼盆地天然气储层储集类型、分布及控制储集性能纵横向变化因素的研究;③莺歌海盆地演化与充填序列;④莺—琼盆地构造区划及其重点圈闭落实;⑤莺—琼盆地低电阻气层判别技术研究;⑥已知气藏形成条件的分析及气藏形成模式预测;⑦有利天然气富集带及有利圈闭的评价与寻找大中型气田勘探目标选择;⑧琼东南盆地层序地层及沉积体系研究。

专家们对这 8 个课题研究成果给予了高度评价,认为在生产和学术上均有重要价值,对指导勘探南海天然气,提高勘探成功率有重要意义。

林自强