

声波全波测井数字记录

尉 中 良

(地质学院北京研究生部)

一、前 言

常用的补偿声波测井仪只测量声波波列中纵波的首波,而其余大量有用的声波信息没有得到利用。

声波全波测井测量的是整个声波波列。它能提供地层纵波、地层横波和诱导波的数据。从而扩大了声波测井的应用范围,并为进一步利用声波波列的其它信息提供了原始资料。

声波全波测井是一种较新而重要的测井方法。主要用来确定油气层岩性和孔隙度;计算地层强度参数,如弹性模量、体积模量、切变模量、杨氏模量、泊松比等;检查固井水泥胶结质量;探测裂缝;计算地层渗透率等等。

在充满流体的石油与天然气钻井中,当放入一定中心频率的声源后,将主要产生纵波、横波、视端利波和斯通利波。进行声波测井时,就是要记录这些波并对记录结果进行数字处理和解释,以便作出地质结论。

1. 纵波和横波 这是属于两种临界折射类型的体波,在井内流体中以纵波的形式传播。当以临界角形式传播到流体与地层的界面处时,产生临界折射,进入地层后,以纵波和横波的形式沿界面传播,并以纵波的形式折射返回井内。地层纵波和横波的速度以及衰减特征反映了地层特性。

2. 视端利波 它是与流体和地层交界面有关的波,又称反射锥形波,属诱导波的一种。其幅度随着向界面两边介质的深入而减弱,在地层中近似指数衰减。视端利波的速度与频率有关,即具有频散特性。其相速度在低频端等于地层横波速度,然后随着频率的增加而单调降

低。在高频端趋近于井内流体纵波速度。其群速度在低频端也等于地层横波速度,然后随着频率的增加而急剧降低,达到最小值时大约等于流体纵波的 0.85 倍;在高频端也趋近于流体纵波速度。

3. 斯通利波 是井内流体纵波与地层横波在交界面相互作用产生的界面波,属诱导波类型。它的相速度与群速度差别较小,在低频端约为井内流体纵波速度的 0.9 倍,随着频率的增加而缓慢增大;在高频端趋于井内流体纵波的速度。它的频散比视端利波要小。同端利波一样,斯通利波的衰减与地层横波和纵波的衰减以及井内流体纵波的衰减有关。

综上所述,在井中传播的波有地层纵波和横波、视端利波、斯通利波以及其它波。这些波的总和就构成了井下声波的全波列。声波全波测井就是记录这种波列。

二、声波全波测井数字 采样程序方法原理

实现声波全波列数字记录,可提高记录精度、声波信息利用率和便于用计算机处理。全波列数字记录主要使用全波测井数字采集程序,其方法原理如下。

数控测井系统,利用全波采样程序进行全波采样,然后经过转换时间为 $0.9\mu\text{s}$ 的高速 8 位模数转换器直接送入计算机。全波采样率通常选用 $2\mu\text{s}$,从声波同步信号开始的采样持续时间为 $1840\mu\text{s}$ 。计算机把采集到的已经数字化的全波波列信号送磁带机进行记录。

为了保证计算机所计算声波速度的正确性,确定同步信号起始时间非常重要。由于井

下传到地面的声波同步信号较窄,在采样时往往漏采。根据计算机处理的特点,全波采样程序展宽声波同步信号,使其后沿按一定斜率下降到一负值后返回到零值,其波形如图1所示。

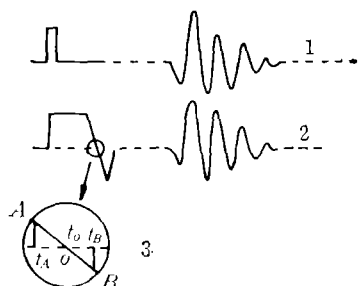


图1 声波全波数字采样

1. 声波波形, 2. 处理后的波形, 3. 同步信号过零点放大图

为了进行同步信号检波,计算机全波采样程序利用同步信号由正变到负的采样点 A 和 B 之间必有过零点“0”的特性,计算出“0”点的时间 t_0 。由于 AB 线段斜率为:

$$k = \frac{v_A - v_B}{t_B - t_A} = \frac{v_A - 0}{t_0 - t_A}$$

则

$$t_0 = \frac{(t_0 - t_A)v_A}{v_A - v_B} + t_A$$

其中, v_A, v_B 为 A, B 点声波幅度; t_A, t_B 为 A, B 点时间。

确定了同步信号的零点时间 t_0 之后,全波采样程序每隔一定时间所采的样品就都具有了明确的时间概念。

全波采样程序还要把首波零点时间检波计算出来,其方法是利用声波信号在出现正峰之前一定要出现负峰这一特点,其计算方法与同步信号检测类似。这种检测信号方法的优点在于可抑制同步信号和首波之间的干扰,对尖峰干扰的抑制尤为有效。

三、声波全波测井数字记录

进行声波全波测井数字磁带记录,所用的下井仪器可以用0.91—1.2 m; 0.91—1.5 m; 1.4—1.8 m; 1.2—2.2 m发射器到接收器间距的井眼

补偿下井仪器。发射器发射间隔(声波重复频率)可选用25, 50, 100 ms。所用模数转换器的精度为8位双极性正负5V。全波波列的采样间隔可选择使用1, 2, 4或8 μ s。在磁带上所记录的数据块的采样数可选择为480, 960或1920个样。其中每个采样由4个字节(32位浮点数)组成。如果选用一个发射器时,只记录两个记录块(T_1R_2 和 T_1R_1)。如果选用两个发射器时,则记录四个记录块。

同一声源的两个全波记录经过相关分析之后,确定出相应的地层纵波,进而确定出相应的地层横波,并分别计算出它们的时差。当用两个声源的全波记录时,可以求得两个地层的纵波和横波,并计算它们的平均值作为最后结果。当地层横波速度小于井内流体纵波速度时,地层横波和视端利波均不存在,这时可通过用斯通利波计算地层的横波速度。

纵波的衰减可以通过比较两接收器收到的纵波的幅度来确定。由于受幅度较大的诱导波的影响,幅度较小的横波不易分离出来。因此,不宜使用幅度比较的方法,而应当用计算的方法来确定横波的衰减。首先比较两个接收器接收到的诱导波的幅度(用视端利波或斯通利波均可),求出两个频率或几个频率的衰减。然后可求出纵波、横波和流体纵波的衰减分配系数,并根据下式计算出地层横波的衰减以及井内流体纵波的衰减:

$$1/Q = v_p/c(dc/dy_f)1/Q_f + v_s/c(dc/dv_s)1/Q_s + v_f/c(dc/dv_f)1/Q_f$$

其中, c 为诱导波的相速度; v 为体波速度(下标 p, s, f 分别表示地层纵波、横波和井内流体纵波); $(v/c)(dc/dv)$ 表示体波衰减分配系数; $1/Q_s$ 为地层横波衰减; $1/Q_f$ 为井内流体纵波衰减。

四、声波全波测井数字记录回放

利用声波测井绘图程序,可在测井曲线记录胶片上显示由全波采样程序控制记录到磁带上的声波全波列信息。

首先按下述方法确定声波全波列回放显示比例尺。把 API 记录格式中的 R 记录道分成 1000 格, 每格表示 1 个采样。所以, 如果利用声波测井绘图程序进行回放时, 磁带测井的采样率只能选择 960。480 和 1920 的采样率可以用。但是, 如果选用 480 采样率时, 只有 R 记录道的一半包含有用信息; 而选用 1920 采样率时, 只有磁带所记录的波列的一部分(一半)可回放显示出来。由计算机所产生的同步脉冲后沿开始进行回放。每隔 $100\mu\text{s}$ 自动给出比例尺线(计时标志)。假定同步脉冲后沿的时间

$$t_0 = 100\mu\text{s}$$

(见图 2 所示)

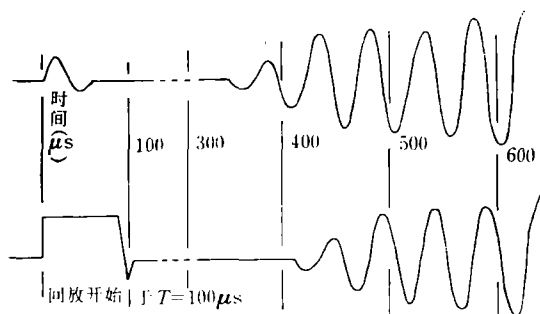


图 2 声波全波数字记录回放

声波全波磁带数字记录可有三种回放形式。即变密度曲线, 半波波形曲线和变面积曲线三种回放形式。现把变密度和半波波形曲线回放显示的特点叙述如下:

1. 变密度曲线回放显示

这是一种以强度-时间显示为特点的回放方式。这种显示形式就是对所记录的声波波列的幅度进行变换。然后, 用强度调制的方法, 把声波幅度的变化变成明暗程度的变化显示在胶片上。图 3 即为变密度测井曲线。

如果仪器按一定的深度比例尺带动胶片转动, 胶片就显示出这些代表幅度大小的光点, 得到一张连续的变密度显示图。很明显, 变密度显示图的横坐标表示声波波列到达接收器的时间, 而纵坐标则表示深度, 曲线变黑程度代表了声波波列幅度的大小。

变密度曲线可用来在固井时检查套管和水

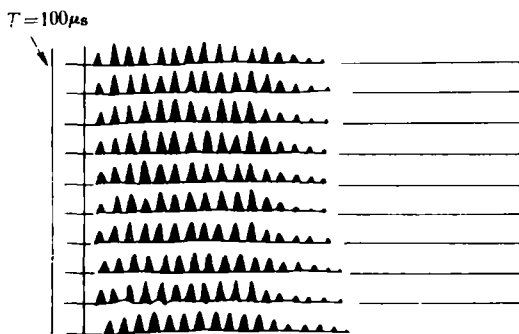


图 3 变密度测井曲线

泥胶结的程度; 也可在碳酸盐岩剖面中识别岩性和划分裂缝带。由于地层横波的时差大于地层纵波的时差, 单位深度的横波传播时间的变化较大。因此, 在变密度曲线图上横波曲线相对深度轴的斜率就比纵波的较大, 根据此特点利用变密度曲线识别出横波, 而进一步求出横波的时差并定性估计其幅度。

2. 半波波形曲线回放显示

这是一种以幅度-时间为特点的回放显示方式。它显示某一深度的各个波到达接收器的时间及其幅度变化(如图 4 所示)。

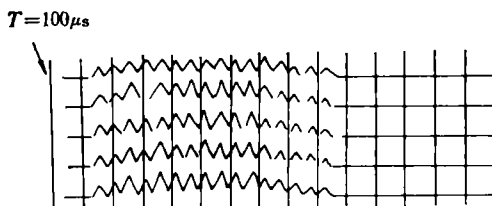


图 4 半波波形曲线

声波每秒发射一定个数的声脉冲, 接收器就收到一个相应的波列。为此, 应规定所显示波列的数目, 并规定声波波列信号幅度在零线之上为正幅度, 之下为负幅度。将声波波列信号负半周截去, 只保留正半周为回放显示作准备。通常采用以 12.7cm (5 吋) 代表深度 30.5m (100 呎) 的比例尺, 则每 3.05m (10 呎) 深度记录 2 至 4 个声波波列。

由于各个波传播速度的差别, 它们的初至波到达接收器的时间有所不同。最先到达的是地层纵波, 然后到达的才是地层的横波, 在横波之后, 紧接着的是幅度较大的视端利波的低频

部分,再以后是斯通利波。因此,根据它们的初至波到达时间,就可以区分这些波并求出它们的时差和幅度。

常见的地层,其纵波和横波的幅度都比较小。如果横波的幅度比纵波的幅度大的多时,识别纵波和横波比较容易。理论计算表明,如果声源发射的声波强度取决于声源对井轴的方位角时,则只要选择适当的方位角,并使接收器距声波发射器足够远,就可使折射横波的幅度比折射纵波的幅度大的多(当地层横波速度大于井内流体纵波速度时)。

五、结 束 语

随着计算机及数字技术在测井中的应用及其发展,声波测井采用了数字记录方法。即除了记录纵波首波的速度和幅度外,还要记录全部纵波及横波的速度、幅度、频率、相位等声波测井信息。因此,采用数字化记录方法,将声波信号按一定时间间隔进行采样,经过模数转换,并按二进制数编码存储在磁带上。

记录于磁带上的数字化的声波全波信息,可便于采用数字处理方法对声波波列进行分析,以得到由于不同介质声学物理特征的影响所引起在速度、幅度、频率和相位等方面的变

化。

声波全波测井数字化记录,可促进声波传播机理的深入研究,尤其是声波在孔隙介质中传播动力学模型的研究将会得到深入发展。

另外,在从声波全波列数字化记录中提取介质的声学物理特征信息方面来说,采用数字化方法,则不仅可以研究纵波首波,而且可以研究对岩性和孔隙度变化更为敏感的横波速度变化。这是属于速度谱领域的研究方法。

数字声波记录结果不仅可用来研究声速、时差的变化,而且可研究声波频率在介质中变化特征,得到不同岩性或孔隙介质中含有不同流体时的频率谱。

采用数字技术的声波全波测井方法,还可以进行整个声波波列,包括纵波及横波和续至波振幅变化情况,有可能在下套管后对地层进行研究。这又是属于振幅谱领域的研究方法。

参 考 文 献

- [1] Dresser Atlas, Well Logging and Interpretation Techniques, Dresser Atlas, Dresser Industries Inc., 1982, X1—X27.
- [2] Dresser Atlas, 3702 Operating Manual, Dresser Atlas, Dresser Industries Inc., 1982, 6.33.1—6.33.5.

~~~~~

(上接第7页)

## 九、侧 音

电话机是一个具有2/4线转换的终端设备,因此侧音是难以避免的。用户对较响的侧音是反感的。

研究表明,骨导传声对侧音的主观感觉影响很大,尤其是当受话器紧贴耳朵时。但骨导传声分量与受话器中发出的“电侧音”到底是掩蔽的关系还是功率相加的关系,国际上仍有不同的看法。目前基于前者的侧音掩蔽评定值

(STMR)已成为国际建议,但日本仍认为后者更合理。

以上仅对电话通信中的部分声学问题作了概括的介绍。实际上在这个领域中尚未解决的声学问题还很多,比如电话通话一般只用一只耳朵。那么另一只开放的耳朵到底起不起作用?有的认为通话人的注意力集中在一只耳朵上,所以另一只耳朵不起作用;也有的认为有时不得不用手堵住另一只耳朵才能在噪声较高的环境中通话,说明开放的耳朵是起作用的。这些问题都有待于我们去研究探索。