

科学出版社, 1965, 第一版, 第三册, 411.

[4] 福建省气象局、南京大学气象系、西安化工研究所合编, 四聚乙醛的制备及其应用(译文), 24—28.

[5] 福建省气象局、南京大学气象系、西安化工研究所人

降雨剂组, 西安化工, 4(1975), 12—39.

[6] N. Fukuta, K. J. Heffernan, W. J. Thompson and C. T. Maher, *J. Appl. Meteor.*, 5(1966), 288—291.

一种用声幅补偿来判断套管井的水泥胶结质量的方法

法 林

(西安石油勘探仪器总厂测井研究所)

1987年7月21日收到

本文在声波水泥胶结质量测井中根据声等效衰减系数的概念和一种采用双发双收原理进行声幅补偿来判断套管井水泥胶结质量的方法。作者根据这种概念和方法建立了实验装置, 进行了室内试验和声波幅度的数据测量。这种装置大大减小井下仪器在油井中的倾斜偏心, 声波换能器的发射, 接收灵敏度和井壁透射系数等因素对接收的声波幅度的影响, 和目前国产的水泥胶结质量声波测井仪器相比较, 提高了声波幅度的测量准确性, 从而也就提高了水泥胶结质量声波测井的可靠性。

声幅测井是依靠声换能器接收从套管、水泥胶结层和地层传播而来的声波信号幅度来判断管井的水泥胶结质量的。接收到的声信号幅度既受水泥胶结质量的影响, 也受到发射与接受换能器的灵敏度, 套管尺寸, 泥浆和套管的声阻抗, 以及井下仪器在油井中的倾斜偏心等因素的影响。因此, 测量得到的声波幅度信号是反映上述因素的一个综合性参数。为了在井中克服干扰因素对测量所得声波幅度的影响, 使其能够较为准确地反映套管井的水泥胶结质量, 我们根据声等效系数的概念, 应用声波幅度补偿的方法, 研制出声幅补偿测井仪的室内试验装置^[1-2], 以判断套管井的水泥胶结质量。

一、基本原理

为简单起见, 我们将井下仪器的倾斜偏心对接收的首波幅度的影响纳入到发射和接收换能器的发射和接收灵敏度中一并处理。如图1所示。设 F 是发射换能器的发射灵敏度, L 是

应用声学

接收换能器的接收灵敏度, T 表示泥浆和套管间界面的透射系数对接收的首波幅度的影响,

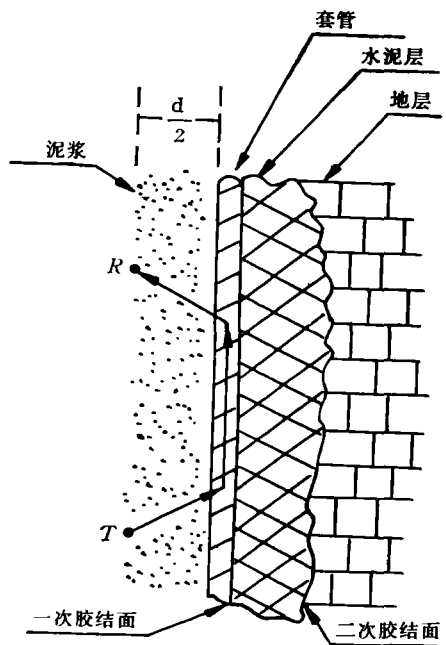


图1 单收发发声系统装置示意图

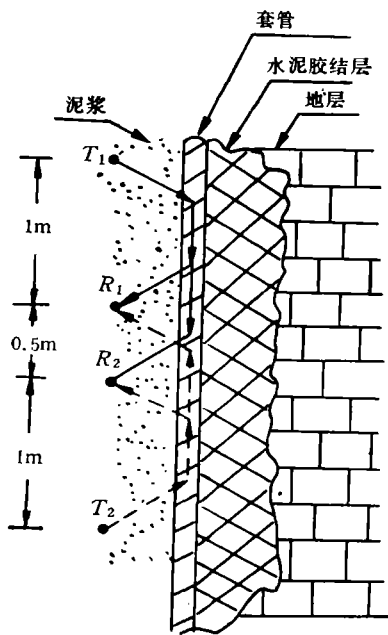


图2 双收双发声系统示意图

α_0 是泥浆的声衰减系数, α 是水泥浆胶结质量的等效声衰减系数, x 是发、收换能器之间的距离, d 为套管内径, θ 是声波的入射角, 则接收换能器接收到的首波幅度为^[3]

$$E = FTL e^{-\alpha_0(d/\cos\theta)} e^{-\alpha(x-d\lg\theta)} \quad (1)$$

图2中的声系统采用双发双收的方式, T_1 和 T_2 分别为上、下发射换能器, R_1 和 R_2 分别为上、下接收换能器. T_1 发射声波后, R_1 和 R_2 接收的首波幅度分别为

$$E_{11} = F_1 T L_1 e^{-\alpha_0(d/\cos\theta)} e^{-\alpha(1-d\lg\theta)} \quad (2)$$

$$E_{12} = F_1 T L_2 e^{-\alpha_0(d/\cos\theta)} e^{-\alpha(1.5-d\lg\theta)} \quad (3)$$

T_2 发射声波后, R_2 和 R_1 接收的首波幅度分别为

$$E_{22} = F_2 T L_2 e^{-\alpha_0(d/\cos\theta)} e^{-\alpha(1-d\lg\theta)} \quad (4)$$

$$E_{21} = F_2 T L_1 e^{-\alpha_0(d/\cos\theta)} e^{-\alpha(1-d\lg\theta)} \quad (5)$$

式中 E 的第一个角标是发射换能器的角标, 第二个角标是接收换能器的角标.

由(2)和(3)式可得到 T_1 发射, R_2 和 R_1 接收的首波幅度比为

$$B_1 = E_{12}/E_{11} = (L_2/L_1) e^{-0.5\alpha} \quad (6)$$

由(4)和(5)式可得到 T_2 发射、 R_1 和 R_2 接收的首波幅度比为

$$B_2 = E_{21}/E_{22} = (L_1/L_2) e^{-0.5\alpha} \quad (7)$$

将(6)与(7)式相乘便得

$$B_{BHC} = B_1 B_2 = e^{-\alpha} \quad (8)$$

这个如果独立于发射和接收换能器的发射、接收灵敏度, 也不受套管尺寸、泥浆和套管的声阻抗及井下仪器倾斜偏心等因素的影响, 仅仅与水泥胶结质量的等效声衰减系数 α 有关. 对(8)式取自然对数.

$$\alpha = -\ln B_{BHC} \quad (9)$$

二、实验装置原理框图

在水泥胶结质量声波测井中, 用首波幅度判断一次胶结面(套管和水泥层的胶结面)的胶结质量, 首波后面的次波(在石油测井中称为续至波)幅度判断二次胶结面(水泥层与地层的胶结面)的胶结质量. 我们将用首波幅度推出的(9)式推广运用到接收的声波波列中各个次波中. 下面, 角标 i 代表接收的声波波列中第 i 个半波. 图3是试验装置原理框图. 图中虚线是测井电缆. 电缆左侧是地面仪器部分, 右侧为井下仪器部分. 测井开始时, 地面控制面板首先通过微处理器的输入输出接口 I/O 给出微处理器输入测量井段长度和电缆上提速度两个参量. 微处理器根据上述两参量计算出整个测井过程需要发出的同步脉冲个数, 再通过 I/O 接口, 将此数据寄存到地面面板中的比较寄存器(24位)中. 然后, 微处理器处于等待状态. 此时, 地面控制面板通过电缆给井下逻辑控制电路输送测井开始命令和周期为 20 ms 的同步脉冲信号. 井下逻辑控制电路对同步信号进行两分频, 使它变为周期均为 40 ms 的上激发脉冲和下激发脉冲信号. 上、下激发脉冲之间的时间间隔为 20 ms. 地面控制面板也给电压滤波及调节器提供 150V 直流电压, 高直流电压经过滤波调节后, 输送到电压倍增器. 倍压后的电压直接输送到上下两个激发电路. 当上激发脉冲到来时, 上激发电路激发 T_1 发射声波. 然后井下逻辑控制电路给上接收放大电路和下接收放大电路发送一选通命令, 将它们打开.

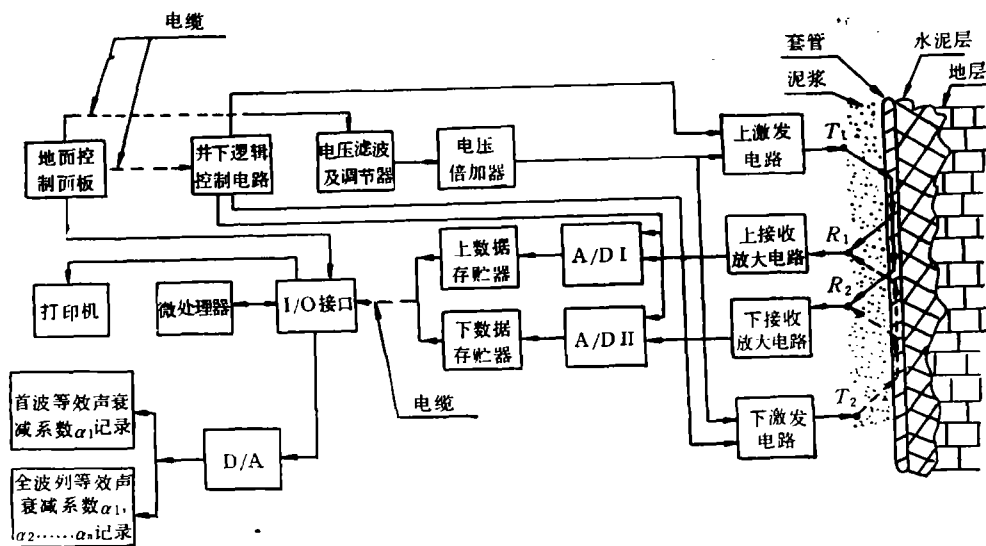


图3 实验装置框图

当 R_1 和 R_2 接收到从套管、水泥层和地层传播来的声波波列后, 分别送到上、下接收放大电路。放大后的声信号输送到上模数转换电路 A/D I 和下模数转换电路 A/D II 进行模数转换, 转换后的数字量分别存贮到上、下数据存贮器中。而后, 将 R_1 接收的声波波列数字量和 R_2 接收到的声波波列数字量通过 I/O 接口输送到微处理器进行计算, 计算出 R_1 、 R_2 接收的声波波列的首波幅度比 B_{11} 和次波幅度比 B_{12} 、 B_{13} 、 $\dots$ 、 B_{1n} , 存贮到微处理器的内存贮器里。直至下激发脉冲到来时, 下激发电路激发 T_2 发射声波。 R_1 和 R_2 同样接收到从套管、水泥层和地层传播来的声波波列, 分别通过上、下接收放大电路进行放大, 送到 A/D II 电路和 A/D I 电路进行模数转换, 数字量分别存贮在下、上数据存贮器里。另, 通过 I/O 接口将数字量输送到微处理器中进行计算, 计算出 B_{21} 、 B_{22} 、 $\dots$ 、 B_{2n} , 存贮到微处理器的内存贮器里。然后根据公式 (9) 逐个计算出首波等效声衰减系数 α_1 和次波等效声衰减系数 α_2 、 α_3 、 $\dots$ 、 α_n 。计算出的值经 I/O 接口一路输送到电传打印机打印出来; 另一路经数模转换电路使它们变成模拟量。而后再分别输送到首波等效声衰减系数 (α_1) 记录装置和全波列的等效声衰减系数 (α_1 、 α_2 、 $\dots$ 、 α_n)

记录装置上进行记录。 当下一个同步周期的上、下激发脉冲到达时, 重复上述过程。这种过程重复进行, 直至地面控制面板发出的同步脉冲个数等于比较寄存器中存放的数字。 然后, 地面控制面板停止发出同步脉冲并向微处理器和井下仪器发出停机命令, 测井过程结束。我们用记录的首波等效声衰减系数 α_1 (和 CBL 对应, CBL 是水泥胶质量测量) 判断套管井的一次胶结面的水泥胶结质量, 用全波列的等效声衰减系数 α_1 、 α_2 、 $\dots$ 、 α_n (和 VDL 对应, VDL 是声波变密度测井) 来判断一次胶结面和二次胶结面的水泥胶结质量。

图 4 是在测井过程中微处理器计算 α_1 、 α_2 、 $\dots$ 、 α_n 的工作流程图。如果是 T_2 发射声波 (即条件 T_1 发射声波为否), 计算 α_1 、 α_2 、 $\dots$ 、 α_n 时, 需要上次 T_1 发射声波计算的 B_{11} 、 B_{12} 、 $\dots$ 、 B_{1n} 值。图中各量 E_{11i} 、 E_{12i} 、 E_{21i} 、 E_{22i} 、 B_{1i} 和 B_{2i} ($i = 1, 2, \dots, n$) 的角标 i 表示接收的声波波列中第 i 个半波的测量值。

三、实验数据和分析

实验中所用的 T_1 和 T_2 是两个圆环形铌酸锂压电晶体, R_1 和 R_2 是两个圆环形钨钼压电

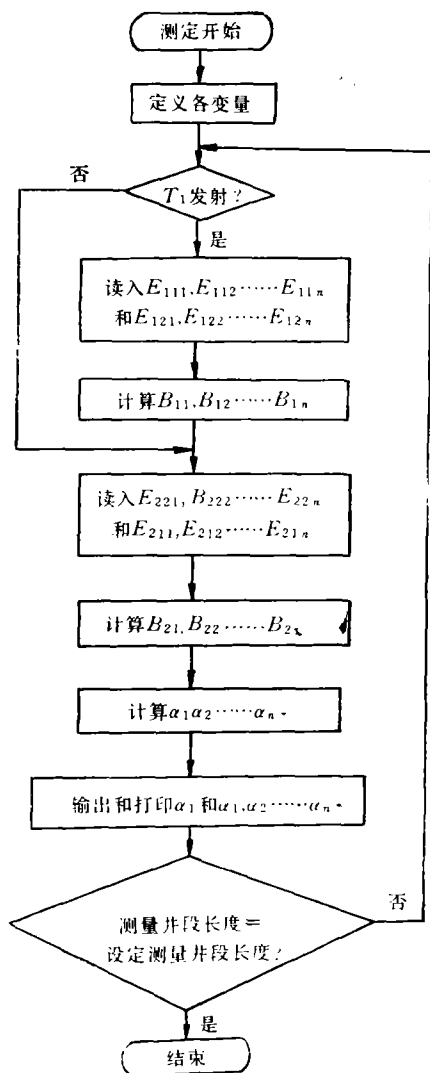


图4 微机工作流程图

晶体。声系的间距和源距如图2所示。我们将声系放置在充满水长3m的铝筒内，不断改变声系的倾斜偏心程度，测量的首波等效声衰减系数 α_1 如下表1。由于没有模拟试验井，受到室内试验条件的限制，没有测量声波波列的次波等效声衰减系数 $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ 。表中试验结果只能反映上述声幅补偿方法对井下仪器在油井中的倾斜偏心以及发射和接收转换能器的不一致性对接收的首波幅度影响的补偿效果。

我们用方均根误差来表示测量结果的精度。通过以上各量计算出 T_1 发射声波， R_1 和 R_2 接收的首波幅度测量值分别是

$$E_{111} = 0.35V \pm 0.09V$$

和

$$E_{121} = 0.27V \pm 0.03V;$$

T_2 发射声波， R_2 和 R_1 接收的首波幅测量值分别是

$$E_{221} = 0.54V \pm 0.07V$$

和

$$E_{211} = 0.31V \pm 0.05V.$$

首波等效声衰减系数的测量值计算为

$$\alpha_1 = 0.78\text{Np/m} \pm 0.05\text{Np/m}.$$

下面我们对以上测量值进行分析讨论。 T_1 与 R_1 之间的距离等于 T_2 与 R_2 之间的距离； T_1 与 R_2 之间的距离等于 T_2 与 R_1 之间的距离。测量的 E_{111} 值与 E_{221} 值的相对差异较大，为

$$\left| \frac{E_{111} - E_{221}}{E_{221}} \right| \times 100\% \approx 36\%;$$

表1 改变声系倾斜偏心程度所测的 α_1 值

测量参量	测 量 次 数																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$E_{111}(V)$	0.32	0.45	0.40	0.53	0.29	0.52	0.28	0.20	0.28	0.43	0.22	0.36	0.27	0.26	0.40	0.32	0.26	0.44	0.32	0.36
$E_{121}(V)$	0.28	0.28	0.30	0.33	0.22	0.32	0.26	0.21	0.26	0.29	0.23	0.20	0.28	0.23	0.26	0.28	0.27	0.39	0.25	0.28
B_{11}	0.88	0.62	0.75	0.62	0.76	0.62	0.93	1.05	0.93	0.67	1.05	0.56	1.04	0.88	0.65	0.88	1.04	0.89	0.78	0.78
$E_{221}(V)$	0.55	0.51	0.56	0.47	0.58	0.48	0.48	0.70	0.54	0.54	0.65	0.46	0.52	0.64	0.50	0.44	0.49	0.60	0.47	0.62
$E_{211}(V)$	0.30	0.37	0.36	0.34	0.35	0.34	0.21	0.28	0.28	0.38	0.26	0.38	0.24	0.31	0.37	0.25	0.22	0.30	0.29	0.37
B_{21}	0.55	0.73	0.64	0.72	0.60	0.71	0.46	0.40	0.52	0.70	0.41	0.85	0.46	0.48	0.74	0.56	0.45	0.50	0.62	0.60
$\alpha_1(\text{Np/m})$	0.74	0.80	0.73	0.80	0.78	0.83	0.86	0.87	0.73	0.75	0.86	0.75	0.74	0.85	0.73	0.72	0.76	0.81	0.73	0.77

E_{121} 值与 E_{211} 值的相对差异较小,为

$$\left| \frac{E_{211} - E_{121}}{E_{211}} \right| \times 100\% \approx 13\%.$$

这说明井下仪器的倾斜偏心, T_1 、 R_1 的发射、接收灵敏度的综合信号响应与 T_2 、 R_2 的发射、接收灵敏度的综合信号响应的不一致性对接收的首波幅度影响较大;井下仪器倾斜偏心, T_1 、 R_2 的发射、接收灵敏度的综合信号响应与 T_2 、 R_1 的发射、接收灵敏度的综合信号响应的不一致性对接收的首波幅度影响较小。在实际测井中,存在着井下仪器在油井中的倾斜偏心,在套管井中存在着套管尺寸和泥浆比重的不同,在生产中也常常存在着一对发射、接收换能器的综合信号响应差异较大的情况。这样就造成在测井中测量的声波幅度不够准确,因而用获得的测井资料来判断套管井的水泥胶结质量的可靠性也就不很高。我们计算出测量值 E_{111} , E_{121} ,

E_{211} , E_{221} 和 α_1 的相对方均根误差分别是 26%, 11%, 13%, 16% 和 6%。首波等效声衰减系数 α_1 的相对方均根误差最小。这就说明利用声幅补偿方法可以大大减小井下仪器倾斜偏心,发射和接收换能器的发射和接收灵敏度的不一致性对接收的声波幅度的影响,从而提高测井记录资料的精度和可靠性,使其能够较为准确地反映套管井的水泥胶结质量。

目前这种声幅补偿方法的室内实验装置已经完成,处于准备制做样机阶段。

参 考 文 献

- [1] 江汉石油学院测井教研室,测井资料解释,石油工业出版社,1981,121—122.
- [2] Gollwitzer L. H. and Masson J. P., SPWLA 23 Annual Logging Symposium, July, 1982.
- [3] 石一,测井技术,1(1981),1—6.

石油钻井泥浆池液位高度声学检测报警系统

王志刚 董胜林 赵小立 任金莲

(陕西师大应用声学研究所)

1987 年 1 月 13 日收到

本文利用气介声纳原理提出了监控石油钻井中泥浆池液位高度的可靠方法,建立了预测井喷发生的自动控制系统,为钻井台录井系统提供了泥浆液位变化的报警信号。

文中叙述了这一方法的原理和为提高测量精度所进行的温度修正方法,并给出了实验结果。

井的预报。

一、引 言

在石油勘探钻井时,要连续不断地把泥浆注入井下,再由井下返回到泥浆池。钻井过程中泥浆在不断地循环。正常情况下,泥浆池流出的泥浆和流入的泥浆保持平衡。如果出现不平衡,将意味着要发生井喷或漏井。泥浆液位高低变化反映了泥浆流出、流入量的变化。因此,监视泥浆池液面高低变化,即可作井喷、漏

二、测 量 原 理

声脉冲由换能器发射,经待测表面反射后,被换能器接收^[1-2],在测量中选定一参考面,取作零点,如图 1 所示。假定换能器的振动膜片到参考面的距离为 Z ,到泥浆液面的距离为 N ,液面高度为 F ,则参考面到泥浆池底的总高度为