

文章编号 1000-5013(2001) 03-0298-05

提高钻井法凿井测井仪的超声测距可靠性

曹 茂 永 王 霞

(山东科技大学信息与电气工程学院, 济南 250031)

摘要 介绍 SD-2A 型钻井法凿井测井仪的结构和工作原理. 为解决提高仪器可靠性和技术指标的关键技术,即超声波在大相对密度非均匀泥浆介质中的可靠测距问题,设计一套超声波数字信号采集系统. 对大相对密度非均匀泥浆介质中的超声测距信号,进行傅立叶频谱分析和成分分析. 在此基础上,提出超声测距信号处理的几种方法,即频域滤波法和自相关法,给出提高超声测距可靠性的硬件设计,实现在泥浆相对密度为 1.3 的介质中的可靠测距.

关键词 钻井法凿井测井仪, 自相关, 数据采集, 超声信号处理

中图分类号 TD 178 : TP 274 : TB559 **文献标识码** A

1 超声测井仪原理及问题的提出

在煤矿建井和各种地基基础工程,特别是道路、桥梁、码头、高层建筑的建设中,钻井法凿井已成为普遍采用的一种施工方法. 施工过程中,测量钻孔的井径、井斜仪器均采用超声测距原理. 图 1 为 SD-2A 型钻井法凿井测井仪的工作系统,包括超声测距系统、磁通门定向系统、

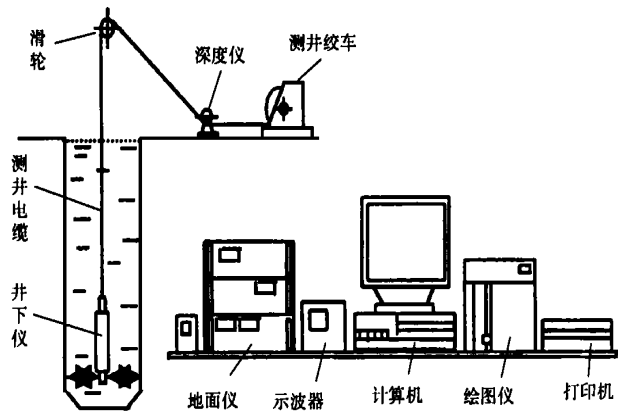


图 1 桩基钻孔测井仪组成示意图

微机数据采集与处理系统和深度指示系统. 它由井下仪、地面仪、计算机系统、测井电缆和测井绞车等组成.

仪器的工作过程: 井下仪由测井电缆吊系, 通过滑轮由测井绞车铅垂下放井筒中. 在被测深度上停下后, 井下仪对井帮进行测距扫描. 井筒直径测量应用超声测距原理. 在井下仪的下端装有超声换能器, 当发射电路产生的电脉冲加到换能器上时, 换能器定向地发出超声波信号. 该信号在井筒泥浆中传播, 遇到井帮后反射回来再被换能器接收, 并转换为电脉冲信号, 即完成了一次测量. 若超声波在泥浆中的传播速度已知, 精确地测量出发射和接收之间的时间, 可得出由换能器到井帮之间的距离. 换能器以一定速度旋转, 对井帮进行周期扫描, 可测量出换能器到井帮上各点的距离. 该数据经过地面仪在计算机上显示出该水平断面的井帮图形, 并将所测数据存盘. 然后再下放仪器, 进行另一水平断面的测量. 根据井下仪下放点与井筒设计中心的坐标关系, 可计算出各水平断面的实际直径, 以及井筒实际中心相对设计中心的偏斜值与方位角度. 最后, 打印出水平断面图、竖直断面图和井筒中心偏斜投影图等.

泥浆介质非常复杂, 内部的颗粒、气泡等大小和分布差别很大, 超声波在内部的传播属非线性传播. 特别是当泥浆相对密度大时, 超声波的衰减很大, 仪器的可靠性大大降低. 我国和前苏联的仪器技术指标为标准泥浆(泥浆相对密度不超过 1.2, 含沙量不超过 4%). 日本的仪器技术指标为泥浆相对密度不大于 1.1, 这在某种程度上限制了仪器的适用范围. 为了进一步提高仪器的可靠性和技术指标, 必须解决超声波在大相对密度非均匀泥浆介质中的可靠测距问题. 为此, 本文设计了一套超声数字信号采集系统, 对大相对密度非均匀泥浆介质中的超声测距信号, 进行了傅立叶频谱分析和成分分析. 在此基础上, 提出了在大相对密度非均匀泥浆介质条件下, 超声测距信号处理的几种方法, 即频域滤波法和自相关法. 同时, 给出了提高超声测距可靠性的硬件设计. 本文实现了在泥浆相对密度为 1.3 的介质中的可靠测距.

2 超声信号数字采集系统^[1]

超声信号数字采集系统, 包括通用超声波发射电路、超声波接收电路和 PC 机数据采集系统. 如图 2 所示. 触发脉冲产生电路由 2 片 555 组成. 第 1 片 555 构成一方波发生器作为主控脉冲; 第 2 片 555 构成另一方波发生器, 其频率调整为换能器的共振频率. 用主控脉冲调制方波发生器, 它能输出单脉冲, 电路为单脉冲发射形式; 又能输出 n 个脉冲, 电路相当于方波调制的脉冲波发射形式; 还能输出一连续的方波信号, 电路为连续波发射形式. 由于大相对密度泥浆的超声波衰减大, 放大电路的放大倍数很高, 其前级运放采用 AD620 高精度仪用放大器实现. PC 机采集系统采用的是 ISA 总线的数据采集卡, 它是针对动态信号分析的, 采样频率达 20 MHz. 其各通道的相位和时间的一致性, 可分析很长一段连续时间信号, 并且具有丰富的触发方式.

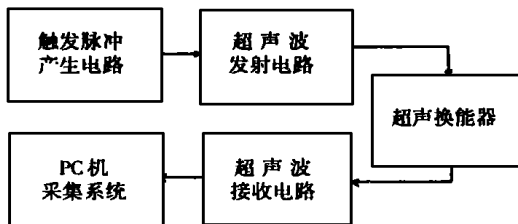


图2 超声信号数字采集系统

由于大相对密度泥浆的超声波衰减大, 放大电路的放大倍数很高, 其前级运放采用 AD620 高精度仪用放大器实现. PC 机采集系统采用的是 ISA 总线的数据采集卡, 它是针对动态信号分析的, 采样频率达 20 MHz. 其各通道的相位和时间的一致性, 可分析很长一段连续时间信号, 并且具有丰富的触发方式.

3 超声信号的分析与处理

3.1 频域滤波处理

图3所采集的数据为超声波在泥浆相对密度大于 1.3 的介质中传播的信号. 图3中横坐

标为采样的点 $N(\mu s)$, 纵坐标为电压信号 $U(mV)$. 可以看出, 该信号含有较大的噪声. 设 $x(n)$ 为采集到的超声信号数据序列, 它为一有限长的 N 点非周期序列, 满足 $\sum_{n=0}^{N-1} |x(n)| < \infty$ 的条件, 对该信号进行 Fourier 频谱分析. 图 4 为图 3 信号的频谱. 若时域中采样点数为 N , 采样间隔为 Δx , 频域中的频率间隔为 Δu , 则 $\Delta u = 1/N \Delta x$. 所以, 图 4 的横坐标单位为 $f(kHz)$, 纵坐

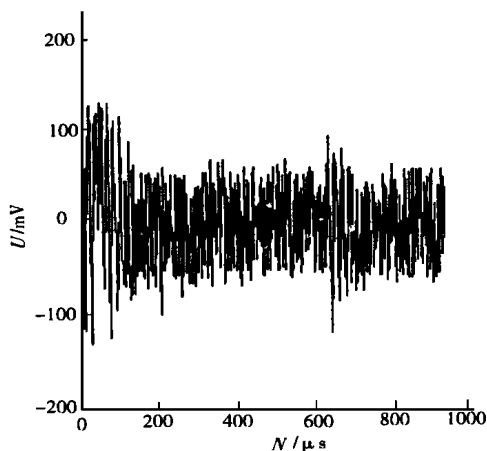


图3 波浆中的超声测距信号

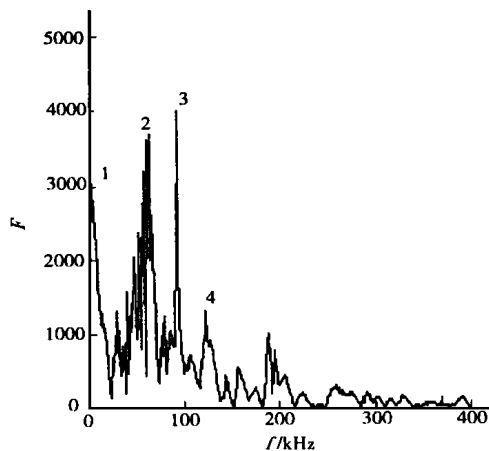
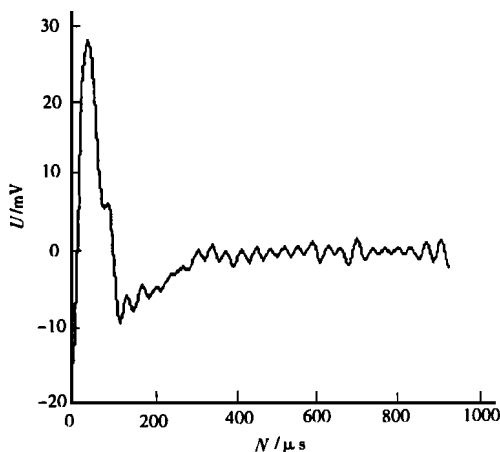
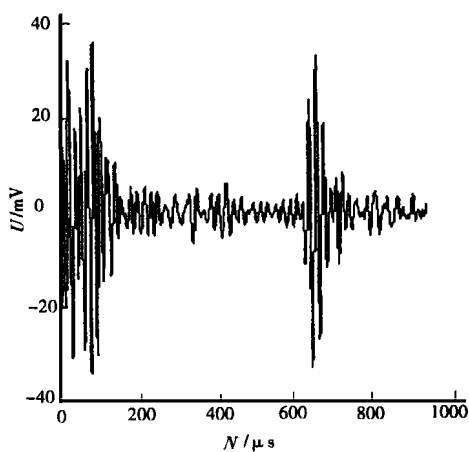


图4 信号的频谱

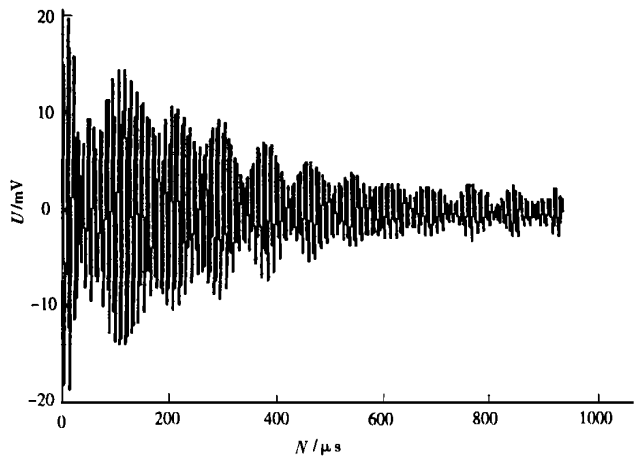
标为傅立叶谱值 (F). 进一步分析大相对密度非均匀泥浆中超声信号包含的成分, 将频谱图的几个峰部分分别滤出, 然后进行傅立叶反变换. 图 5 为峰 1, 2, 3 对应的时域信号的波形. 从图中可以看出, 峰 1 主要是触发脉冲成分, 峰 2 为换能器发射信号与接收信号的基频成分, 是系统所需要的测距信号, 峰 3 为换能器的谐波成分, 峰 4 及其它波峰对应换能器的其它谐波成分. 实验中还发现, 随着泥浆中颗粒和气泡的晃动, 这些谐波分量信号构成的包络线位置和幅值都在变化. 它是由颗粒和气泡对超声波的非线性反射产生的, 与测距信号无关. 从以上分析可以看出, 换能器的发射信号与接收信号的基频成分为有效的超声测距信号, 其它成分与测量的距离无关. 只要超声换能器选定, 其频率滤波的范围也就确定. 实现频率滤波, 可采用数字信



(a) 波峰 1



(b) 波峰 2



(c) 波峰 3

图 5 波峰的 Fourier 反变换波形

号处理或模拟电路处理的方法. 以上分析过程实际上已给出了数字信号处理的方法, 即先对原始信号进行傅立叶频谱分析. 然后, 将换能器的基频成分滤出, 再进行傅立叶反变换. 若用模拟电路进行处理, 在电路中加一高性能的带通滤波器即可. 因泥浆相对密度大时, 超声波的幅值随距离的增加下降很快. 为了实现在不同距离上得到幅值相近的回波, 电路中加一对数放大器, 其结构框图如图 6 所示.

3.2 自相关方法处理^[2,3]

自相关处理法是, 利用超声发射信号与接收信号具有相关性, 而超声信号与噪声无相关性的特点, 来实现超声回波信号的识别. 设伴有噪声的信号为 $x(t) = s(t) + n(t)$. 对 $x(t)$ 进行自相关处理, 得

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t)x(t-\tau) dt =$$
$$R_{ss} + R_{sn} + R_{ns} + R_{nn},$$

(3)

式中, R_{ss} 表示信号的自相关函数, R_{sn} 和 R_{ns} 分别为信号与噪声和噪声与信号的互相关函数, R_{nn} 为噪声的自相关函数. 因噪声与信号互不相关, 噪声也无自相关性, 若求积分平均的时间较长, 则

$$R_{sn} = R_{ns} = R_{nn} = 0, \quad R_{xx}(\tau) = R_{ss}(\tau).$$

可以看出, 对采集的信号进行自相关处理后, 噪声成分得到了有效的抑制, 其结果只与有用信号有关.

4 结论

为提高在大相对密度非均匀泥浆介质中超声测距的可靠性, 进而提高超声测井仪的技术

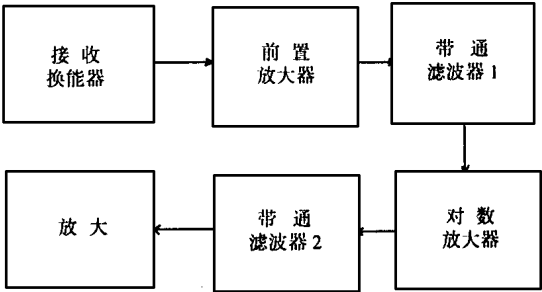


图 6 模拟电路处理框图

指标, 超声信号处理电路可采取以下方法进行改进. (1) 采用模拟电路处理, 在电路上加高性能的带通滤波器和对数放大器, 以实现频域滤波和在不同距离处得到幅值相近的回波信号. (2) 采用数字电路处理, 可采用 DSP 或高性能单片机对前置放大后的信号进行采集, 然后进行数字滤波或自相关处理. 若将数字滤波和自相关处理相结合, 效果更好. 本文的研究同样适用于其它非均匀的复杂传输介质, 而不同检测对象传输介质变化又很大的情况下的超声检测领域.

参 考 文 献

- 1 曹茂永, 王 霞. 超声检测数字信号采集系统[J]. 电测与仪表, 2000, (8): 18 ~ 19
- 2 Cao Maoyong, Wang Xiao, Yu Daoyin. Reliable recognition of ultrasonic echo-signal in high-noise background using digital signal processing[J]. Progress in natural science, 2001(Additional): 120 ~ 124
- 3 Sophocles J O. Introduction to signal processing[M]. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1996. 180 ~ 195

On How to Improve the Reliability of Ultrasonic Ranging for Shaft Sinking and Logging Instrument of Boring Method

Cao Maoyong Wang Xia

(College of Info. & Elec. Eng., Shandong Univ. of Sci. & Tech., 250031, Jinan)

Abstract For improving reliability of instrument and ultrasonic ranging in slurry of high sp. gr. and inhomogeneity, the authors begin with a description on the structure and the operating principle of SD-2A type shaft sinking and logging instrument of boring method; and design ultrasonic system for acquiring data signal, and let the ultrasonic ranging signal in slurry of high sp. gr. and inhomogeneity undergone Fourier spectrum analysis and component analysis. On this basis, several methods, namely, frequency-domain filtering, autocorrelation, etc. are presented for processing signal of ultrasonic ranging. Software design is given for improving reliability of ultrasonic ranging, and reliable ranging in slurry of sp. gr. 1.3 is realized.

Keywords shaft sinking and logging instrument of boring method, autocorrelation, data acquisition, ultrasonic signal processing