

基于小波包最优处理算法的近钻头电阻率随钻测量装置

贾衡天, 盛利民, 窦修荣, 邓 乐

(中国石油集团钻井工程研究院, 北京 100083)

摘 要: 岩石的电阻率与岩性、储油物性和含油性有着密切的关系。基于小波包最优处理算法的近钻头电阻率随钻测量装置, 由于采用随钻的测量方式, 能实时在第一时间测量到地层电阻率信息。并且通过小波包最优小波树信号提取等算法, 可用来对侧向电阻率、钻头电阻率以及方位电阻率进行高精度测量。

关键词: 小波包最优处理算法; 近钻头电阻率随钻测量; 地层电阻率; 油气水层

中图分类号: TP274

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2012)09-0085-03

Resistivity MWD nearby dill device based on WP algorithm

Jia Hengtian, Sheng Limin, Dou Xiurong, Deng Le

(CNPC Drilling Reserch Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Rock resistivity has a close relationship with lithology, oil and oil-bearing material. Based on algorithm of wavelet packet the device of resistivity measurement nearby dill can measure resistivity of Stratum at first time because of the method of measurement while drilling. It can Precisely measure resistivity of stratum by the algorithm of wavelet packet and the best wavelet tree of extract signal.

Key words: best process of algorithm of WP; resistivity MWD nearby dill; resistivity of stratum; layer of oil gas and water

在地质导向钻井中, 近钻头电阻率的测量装置, 能够测量出反映地层的电阻率与岩性参数的信号信息, 因此其对于地址导向钻井的重大意义。传统测井方法测量电阻率时, 需要将线缆测量工具放到井底, 在上提的工程中进行测量。但这种方法是在起钻后进行测量的, 此时井眼周围的地层已经钻开几个小时甚至更长时间。由于钻井液的侵入, 使得井眼周围的地层的电阻率发生了变化, 这样由于低电阻率钻井液的影响, 会使测井结果解释的时候, 漏掉某储层, 这在钻井遇到薄储层时更加容易发生。本文介绍的装置是一种基于小波包最优处理算法的近钻头电阻率随钻测量装置, 其能够准确可靠地测量出侧向电阻率、近钻头电阻率以及方位电阻率等多个地层参数。

1 测量系统测量原理

基于小波包最优处理算法的近钻头电阻率随钻测量装置的结构图如图 1 所示, 在钻铤上装有发射线圈、近接收线圈和远接收线圈以及 3 个接收电极。发射线圈由环形带磁芯的线圈构成, 其使用环形磁芯, 并在磁芯上绕制线圈, 并使用绝缘材料封装后安装在钻铤上。近

接收线圈、远接收线圈与发射线圈的结构类似, 近接收线圈与远接收线圈用来测量侧向电阻率和近钻头电阻率。3 个接收电极安装于扶正器的侧肋, 并且位于一条直线上。电极接触井壁, 但仅占整个井眼圆周的一小部分, 因此可以用来测量方位电阻率。由于垂直安装于一条直线上, 所以能够提供具有垂直分辨率的电阻率测量。对于远接收线圈而言, 其相当于电流互感器, 钻铤和钻铤周围的地层形成互感器的初级磁芯, 而远接收线圈的环形磁芯上所绕制的线圈形成电流互感器的次级, 次级的两根导线接入电流检测电路测量感应出的电流信号, 由于被测电流为经过远发射线圈到近钻头地层的电流, 因此测量的是远接收线圈和钻头之间的地层的电阻率。近接收线圈和远接收线圈的结构和测量方式一致, 但其测量的是近接收线圈感应的电流与远接收线圈感应的电流差, 用来衡量近接收线圈的远接收线圈之间的地层电阻率。由于近接收线圈和远接收线圈检测垂直于钻铤的电流线, 因此具有很好的侧向电阻率测量效果。

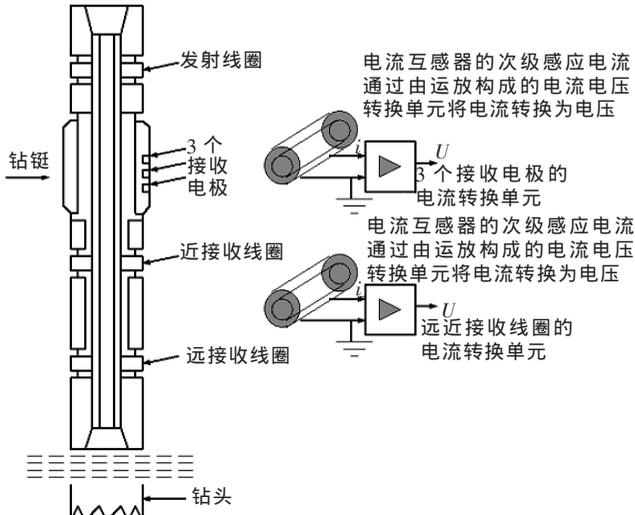


图1 近钻头电阻率随钻测量装置的结构图

3个接收电极是感应电流从地层进入钻铤的通道，测量到的电流值是该电极所面对的地层的区域的方位电阻率。由于3个电极垂直分布在一条直线上，因此可以测量3个深度地层电阻率，由于这3个电机在随钻转动，类似于在扫描井眼壁，因此可以测量电极周围的方位电阻率。同样接收到反映电阻率的互感电流通过电流电压转换单元转换后测量。因此，在随钻测量时，3个接收电极可以同时获得（浅、中、深）地层的电阻率测量值，这对评价钻井液对地层的侵入效果十分有用，并且在扫描井壁的时候，可以获得地层电性上的非均匀特性。

2 测量系统的结构和功能

对于近钻头电阻率的测量，需要完成大量的检测、处理控制和通信功能，本测量装置的结构为一个主控系统和两个从控测量系统，其结构图如图2所示。主控系统包括监控井下电源状态的单元、井下信息存储单元和通信单元。主控系统负责协调远近接收测量系统和接收电极测量系统的工作状态，响应地面控制系统的命令，检测和控制测量设备的电源供电系统，控制井下数据存储单元存储测量数据和设备的运行状态。远近接收测量系统负责与主控系统进行通信，并控制正弦波产生单元产生100 Hz~10 000 Hz的正弦波，利用功放单元将该正弦波转换为加载到电流互感器上的激励信号，从发射线圈上发射出去。当远近接收线圈皆感应出反映电阻率的电流信号时，通过电流电压转换，将电流信号转为电压信号。由多路选择开关分时切换远近接收线圈的信号进入带通滤波器，并通过带通滤波器去除部分激励频率分量之外的其他频率分量，并由可变增益放大器更改信号幅度，避免限幅问题的产生。放大后的信号经过低通滤波器后进行A/D转换，A/D转换单元的转换频率控制在低通滤波器截止频率的10倍，进行A/D采集，并将采集到的结果交由微处理器的数字信号处理单元进行小

波包最优信号提取处理，最大程度地消除噪声影响，提取出真实信号的特征信息。接收电极测量系统的工作原理与远近接收测量系统类似，测量的是3个接收电极的电阻率信息。



图2 测量系统的结构和功能

3 基于小波包的随钻近钻头电阻率信号处理算法

传统的近钻头电阻率测量方法采用全硬件检波的测量方式或者传统IIR滤波数字测量方式。硬件检波的测量方式由于元器件受到井下高温环境影响，会产生参数的漂移和硬件系统噪声，这对电阻率测量结果的影响很大。传统的IIR滤波数字测量方式，对测量信号的相位延迟有严重的影响，并且由于其频率分辨率有限，所以也不能高精度处理好测量后的信号。本装置采用的小波包的随钻近钻头电阻率信号处理算法能很好地解决传统测量方式测量精度差等问题，可稳定可靠处理出反映电阻率信息的信号，为近钻头电阻率信号的去噪和滤波处理提供了灵活的方法。传统的基于傅里叶分析法的IIR滤波器不能在时间和频率两个控件同时以任意精度逼近被测量电阻率信号，但小波可以根据需要选取时间和频率上的精度，在低频部分，由于信号比较平缓，可以不去关心信号随时间的变化，而在这个部分的频率成分会很多，所以可以降低时间分辨率来提高频率分辨率。在高频部分，由于其含有很多瞬态变化的特征，可以降低频率分辨率而提高时间分辨率来关注信号的瞬态特征。因此小波处理算法也被称之为“数学显微镜”。

对被测信号的小波分析处理原理就是由小波函数推演出一组滤波器系数，用该组滤波器系数将采样后的反映近钻头电阻率信息的信号分解成高频和低频两个分量信息，再分别对这两分量信息进行滤波，分解出下一级的4组高频和低频分量，依次类推，再通过选择合适的阈值算法将信号中的噪声和低频强干扰信号的信息去掉，再通过小波逆变换滤波器组的重构算法将所需要的反映近钻头电阻率信息的信号提取出来，其分解和重构算法分别如式(1)和式(2)所示。

$$C_n^k = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{j \in Z} C_j^{k-1} \bar{h}_{j-2n} \quad (1)$$

$$d_n^k = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{j \in Z} C_j^{k-1} g_{j-2n}$$

$$C_n^{k-1} = \langle f_{-(k-1)}, \Phi_{-(k-1), n} \rangle$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\sum_{j \in Z} C_j^k h_{n-2j} + \sum_{j \in Z} C_j^k g_{n-2j} \right), k=N, \dots, l \quad (2)$$

该算法的结构图如图 3 所示,被测信号经过小波高通滤波和低通滤波后被分解为趋势分量和细节分量,其中趋势分量继续通过低通和高通小波滤波器进行分解,将多层分解的最后结果经过阈值处理后,再将趋势分量、细节分量通过相应低通、高通逆小波变换滤波器,并合成上一级的趋势分量,经过多级合成后的最后结果为小波滤波后反映近钻头电阻率的被测信号。在小波用于降噪的过程中,阈值的计算是其核心程序,阈值可以从原始信号的信噪比来提取,一般可以用小波分解的各层系数的标准差来衡量,可以求出信号的噪声强度 σ ,再根据式(3)计算出阈值,这种计算方式成为硬阈值计算。

$$thr = \sqrt{2 \log(n)} \times \sigma \quad (3)$$

其中 n 为信号的长度。



图 3 小波阈值算法的结构图

阈值也可以使用 Birge-Massart 规则计算出来,其能够计算出小波分解后每一层的阈值,这种计算方式称为软阈值计算,显然软阈值的计算比硬阈值更加合理。根据计算出来的阈值对比每层小波分解后的趋势分量和细节分量,并且分量中只保留大于阈值的部分,将这些保留下来的分量部分经过重构算法重构就可以对原反映近钻头电阻率的信号进行滤波处理,提取出反映电阻率的信号特征。但这种计算方式不是最优的,而采用小波包的最优小波树算法能够达到最好的滤波效果。

从滤波器的角度来讲,小波包和小波没有本质的区别,但小波包在小波分解的基础上对细节系数也进行了分解,其结构图如图 4 所示。其基本思想是为了让信息的能量集中,也就是在细节系数中寻找信息的有序性,并进一步将其中的规律信息提取出来,因此小波包

的最优小波树算法也需要一个判断依据才行,这就是熵最小准则。熵是用来衡量信息规律性的工具,熵越小信息的规律性就越强,所以判断方法是看系数分解后的系数的熵之和是否大于原系数的熵。计算熵的方法很多,在基于小波包最优树提取信号算法中使用的是 Shannon 熵,其公式为:

$$E(S) = - \sum_i s_i^2 \log(s_i^2) \quad (4)$$

其中, E 为 Shannon 熵, s 为输入信号。

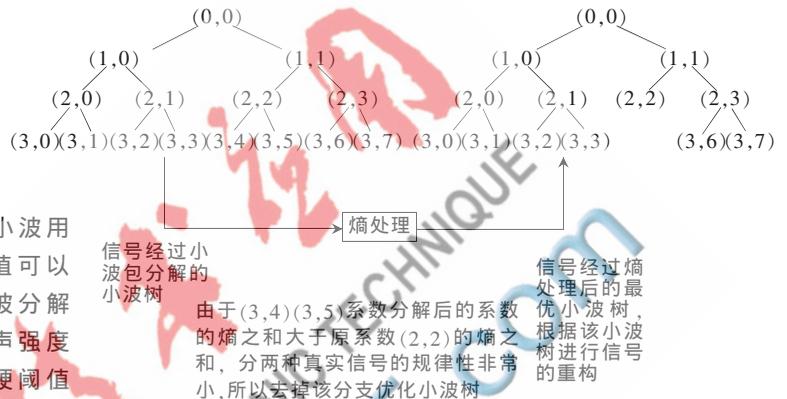


图 4 小波包最优处理算法

根据计算出来的熵,就可以找出需要保留的小波树分支,根据这些分支利用重构算法进行重构,就可以完美地从测量信号中去除干扰成分,提取出真正反映近钻头电阻率信息成分。利用小波包的最优小波树算法处理基于小波包最优处理算法的近钻头电阻率随钻测量装置所测量的信号,处理的效果如图 5 所示。图中 $S(t)$ 为测量系统测量到的信号, $ES(t)$ 为经过小波包最优处理算法处理之后的信号。处理后的信号已经将原来信号中的干扰成分全部滤除掉了,保留能够反映近钻头电阻率信息的有效信号。

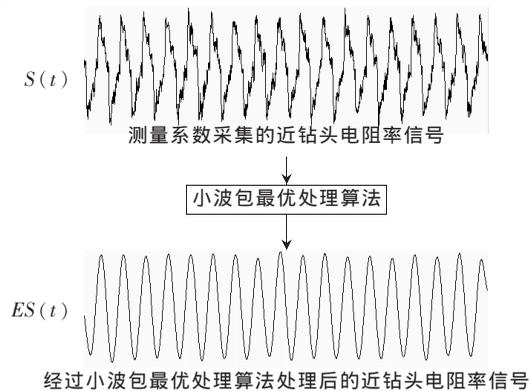


图 5 算法对实测近钻头电阻率信号处理效果图

本装置能够对侧向电阻率、近钻头电阻率以及方位电阻率进行测量,并通过小波包最优处理算法提取出高

精度的反映电阻率的有效信号,克服了传统硬件电路测量方法易受温度干扰引起的测量精度差的问题,获得更多更加精确真实的底层信息,并且由于采用随钻的测量方式,能实时在第一时间测量到地层电阻率信息。为地质导向钻井提供了高精度的真实可靠的测量数据。

参考文献

- [1] 苏义脑.井下控制工程学研究进展[M].北京:石油工业出版社出版社,2001.
- [2] 盛利民,邓乐,窦修荣.实现近钻头测量的关键[C].井下控制工程技术学术研讨会,2001.
- [3] 苏义脑,窦修荣.随钻测量、随钻测井与录井工具[J].石油钻采工艺,2005,27(1).

- [4] 黄忠富.随钻电阻率测井仪器的实现[D].武汉:华中科技大学,2002.
- [5] 黄智伟.系统设计与实现[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [6] 郑钧.电磁场与波[M].上海:上海交通大学出版社,1984.
- [7] 史晓峰.随钻电磁波测井的电阻率测量方法研究[D].北京:北京航空航天大学,2001.

(收稿日期:2011-11-04)

作者简介:

贾衡天,男,1981年生,硕士,主要研究方向:钻井工程。

电子技术应用网
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.ChinaAET.com