

核测井信号数字滤波器的性能分析

任晓荣, 赵福宇

(西安交通大学能源与动力工程学院, 陕西西安 710049)

摘要: 为了便于选用数字滤波器处理核测井信号, 采用定量研究的方法, 分析了各种数字滤波器的性能和局限性, 针对应用过程中存在的问题, 提出了解决数字滤波器时延特性的技术途径和确定滤波器点数的方法。结果表明, 合理选用滤波方法及滤波点数, 能够明显改善核测井信号的滤波效果。

关键词: 核测井信号; 数字滤波器; 混合滤波方案

中图分类号: TN911.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2005)06-0742-04

统计特性是核测井信号的共性, 为减小核测井数据的统计起伏, 获取地层真值, 并能跟踪地层突变^[1], 通常要根据测量得到的计数率高选择适当的数字滤波方法^[2]。在实际测井中, 测量对象的未知性, 使各种滤波处理结果优劣难分, 各油田资料验收人员往往依据已有的测井资料作为验收标准, 尽管这些资料可能并不标准。经常发生的情况是, 要求数字处理结果向模拟处理结果靠拢, 因而也就失去了数字处理的先进性。针对这一两难局面, 有必要对数字滤波器的性能做一透彻分析, 从而为滤波处理结果的可信性与先进性提供依据。为此, 对文献[1, 2]提出的几种滤波方案, 如加权平均滤波方法, 具有边缘检测能力的中值滤波方法^[4], 复合滤波方法和滤波方案5的性能展开研究并加以改进, 通过各种不同功能的数字滤波器在功能上的相互补充, 改善核测井信号数字滤波的效果。

1 滤波方法的定量研究

1.1 定量研究方法

收稿日期: 2004-08-09

作者简介: 任晓荣(1966—), 男, 陕西耀县人, 博士生, 高级工程师

为了对自然 γ 信号混合滤波方案^[1]中的部分数字滤波方法进行定量研究, 选用仪器本底和加源刻度两种计数率, 并构造如图1所示的理想波形, 图1中C段为两个高放射性厚层之间的低放射性薄层, F段为两个低放射性厚层之间的高放射性薄层。图1上7段原始数据如表1所示。

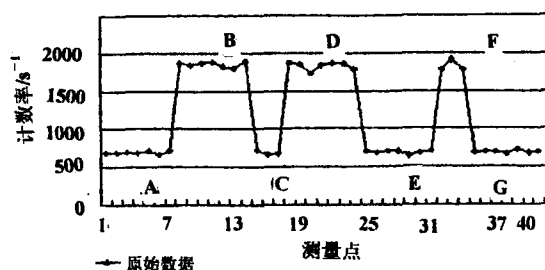


图1 用原始数据构造的理想信号

这样做的目的在于克服测量对象的未知性, 不同数字滤波方法对图1理想波形的处理效果, 可以反映出这种滤波方法的滤波性能, 从而为实际应用提供依据。

1.2 常用加权滤波方法的改进效果

为了便于实用, 对常用加权滤波方法的权系数进行了简化和改进, 核心是在适当加大当前数据加权值的同时, 减小数据窗边缘数据的加权值, 从而在保持并改善数字滤波效果的同时减小计算量和计算时间。

表 1 原始数据及特征量

数据段	原始数据	数据来源	特征量	
			N	σ
A	687,690,696,684,702,658,718	本底测量	690.7	21.0
B	1877,1841,1881,1892,1821,1805,1899	加源测量	1859	36.7
C	728,667,674	本底测量	689.7	33.4
D	1874,1855,1743,1848,1869,1867,1796	加源测量	1836	48.7
E	705,681,705,705,645,690,707	本底测量	691.1	22.6
F	1786,1911,1778	加源测量	1825	74.6
G	685,696,693,660,731,673,692	本底测量	690.0	22.1

对表 1 中的原始数据,用改进前后的滤波方法进行处理,得到新的数据,再用相关公式计算新数据的特征量^[1](数学期望 N 和均方误差 σ),结果如表 2 所示。不难发现,这种改进对滤

波效果的影响并不显著,但却显著减少了计算量,因而是有益的。在滤波方法的定量研究中将采用改进后的滤波方法。

表 2 常用加权滤波器的改进效果

滤波器		改进前		改进后		评价
		N	σ	N	σ	
5 点	一阶递推平滑	690.6	6.0	690.8	5.9	计算量减少,有改善
	钟型函数平滑	692.5	13.4	692.5	13.5	计算量减少,没有改善
	汉明函数平滑	693.8	16.1	693.7	16	计算量减少,有改善
7 点	一阶递推平滑	690.1	2.6	690.1	2.6	计算量减少,没有改善
	钟型函数平滑	694.2	4.8	693.3	4.8	计算量减少,没有改善
	汉明函数平滑	690.9	5.6	694.1	5.6	计算量减少,没有改善

1.3 滤波方法的定量研究

1.3.1 中值滤波方法的定量研究

对于图 1 所示的信号模型,当使用 7 点中值滤波器时,两个薄层都无法分辨;当使用 5 点中值滤波器时,两个薄层都有指示,而且薄层厚度不变,只是地层边界向后平移;当使用 3 点中值滤波器时,两个薄层都有指示,而且薄层厚度不变,只是地层边界向后平移。比较而言,滤波器点数越多地层边界向后平移越多。其示意图如图 2 所示。

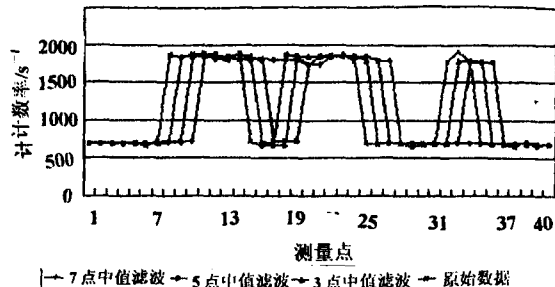


图 2 中值滤波结果示意图

1.3.2 加权滤波方法的定量研究

在核测井领域常用的加权滤波方法,权值的计算主要用各种窗函数,典型的有汉明窗和钟型窗^[2],其性能如图 3、4 所示。

1.3.3 复合滤波方法的定量研究

为了便于比较,将 2 种加权滤波方法及 2

种复合滤波方法^[2]7 点滤波的处理结果同时在图 3 给出。可以发现,2 种滤波方法的处理结果都未能保持原有信号的基本形状,相比较而言,优劣顺序为复合滤波方法 1,复合滤波方法 2,钟型函数平滑,一阶递推平滑。前三种方法对厚层具有正确的响应幅度,但对于薄层其响应幅度受前、后层位的影响较大,并与前、后层位的放射性高低正相关,虽然如此 4 种滤波方法对薄层都有指示。单从对地层真值指示的正确性而言,钟型函数平滑是最好的;从测井曲线的光滑程度而言,复合滤波方法 1 是最好的。

1.3.4 地层边界处理方法的定量研究

数字滤波方案 5^[1,2]对原始数据的处理结

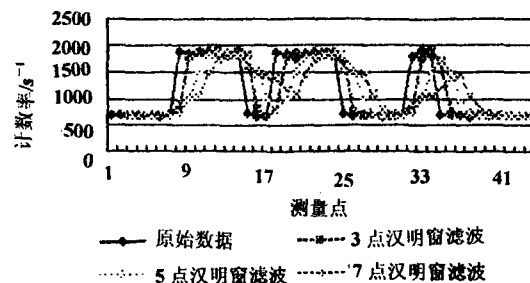


图 3 汉明窗滤波结果

果如图 5 所示。由图 5 可见,数字滤波方案 5 既具有良好的地层突变跟踪能力,又具有良好的降噪能力,检测地层突变历时很少不影响处理

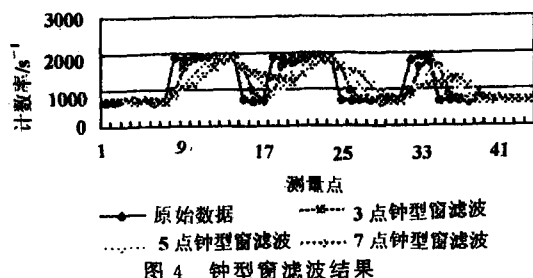


图4 钟型窗滤波结果

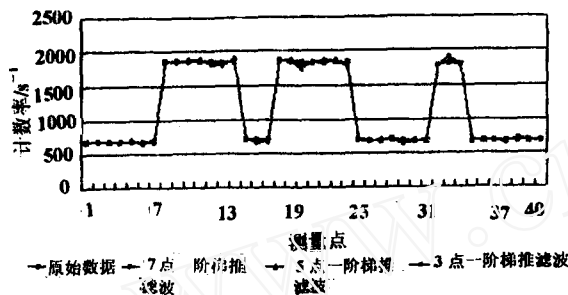


图5 数字滤波方案5处理结果

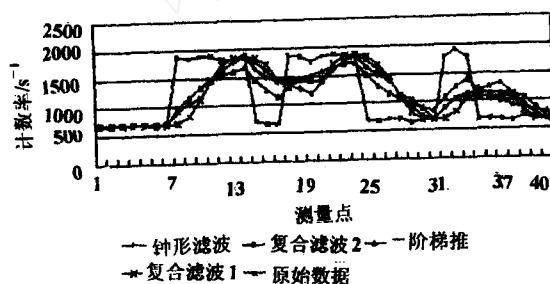


图6 数字滤波结果比较图

的实时性。其特点是平稳段采用一阶递推滤波方法,检测到地层突变时强制输出,中断前面地层对当前点取值的影响。采用7点、5点、3点一阶递推滤波的处理结果如图6所示,通过比较可以发现,此时的滤波点数多少对处理结果影响不是很大。这种方法成功应用的关键是检测地层突变的正确性,因此通过反复实践确定合理的地层突变判断^[1,2]非常重要。

2 滤波器的性能分析

2.1 中值滤波器检测地层突变的局限性

由图2可以看出:当地层厚度小于半窗宽时,中值滤波器无法检测到地层突变;当地层厚度大于半窗宽时,中值滤波器检测地层突变效果良好。但都存在深度延迟。因此,在应用中值滤波器时,只有中值滤波器的半窗宽小于期望分辨的地层厚度对应的点数,才能检测到对应厚度的地层。这一局限往在具体应用中应引起足够的重视。

2.2 加权滤波器的局限性

图3、4所示的汉明窗滤波结果和钟型窗滤波结果表明,2种滤波器的处理结果都未能保持原有信号的基本形状。当然,如果滤波器的点数确定合理,不但能够跟踪地层突变,而且具有正确的响应幅度;如果滤波器的点数不恰当,对薄层虽有响应,但响应幅度不正确。不管如何选择滤波器点数,都存在深度延迟现象。这一点可以由图5得到说明。从曲线形态来看,汉明窗滤波优于钟型窗滤波,特别是跟踪地层突变方面更显其良好的性能。

2.3 复合滤波器的局限性

复合滤波器由中值滤波器和加权滤波器组成而成,因此必然兼具两者的优点和局限性。

2.4 数字滤波方案5与中值滤波器的性能比较

数字滤波方案5与中值滤波器都具有跟踪地层突变的能力,但数字滤波方案5还解决了时延问题,并且在平稳段具有良好的降噪能力,两种滤波方法的性能比较如表3所示。

表3 数字滤波方案5与中值滤波器的性能比较

数据段	特征量		数字滤波方案5		中值滤波器		
	N	σ	7点 σ	5点 σ	3点 σ	5点 σ	3点 σ
A	690.7	21.0	3.17	3.62	5.13	3.97	6.09
B	1859	36.7	9.5	11.41	14.49	30.11	32.57
C	689.7	33.4	11.73	14.29	18.22	0	31.1
D	1836	48.7	14.07	16.37	20.45	43.92	24.23
E	691.1	22.6	6.54	7.64	9.41	5.84	7.54
F	1825	74.6	14.38	18.56	23.94	0	4.62
G	690.0	22.1	3.50	4.47	6.16	10.04	10.04

3 应用数字滤波器应注意的问题

3.1 数字滤波器的时延特性

3.1.1 数字滤波器时延特性存在的依据

根据数字滤波原理,滤波器的输出除了幅度被整形之外,输出信号相对于输入信号延迟了 k 个采样点。经推导 k 值为:

$$k = (N - 1)/2 \quad (1)$$

式中, N 为滤波器的点数; k 为数字滤波方法的时延点数。

3.1.2 解决时延问题的技术途径

时延问题是数字滤波器处理测井数据时,必然要碰到的问题,它对测井资料的影响主要表现在使测井数据与深度发生错位,对于上行测井,会使测井数据向井口方向平移,因此,解决时延问题的技术途径主要是对测井曲线作相反的平移,从而使测井数据与深度对齐。问题是平移多少才能使测井数据与深度对齐。在核测井信号处理中,进入滤波器的采样点常常为计数率,也是仪器在每秒运行的采样间距上的计数,因此,时延点数也是采样间距数或时延秒数,所以可依据公式(2)计算出深度平移数据 Δd :

$$\Delta d = kv \quad (2)$$

式中, v 为测井速度,单位 m/s。

3.2 数字滤波器点数的确定方法

根据上面的分析,数字滤波器能分辨的地层厚度与滤波器的点数密切相关,假定要分辨的地层厚度为 h ,对应的采样间距数为 h/v 。

1)对于中值滤波方法,为确定数字滤波器点数:

令 $h/v \geq (N-1)/2$

可得:

$$N \leq (2h/v) + 1 \quad (3)$$

2)对于加权滤波方法,为确定数字滤波器点数:

令 $N = h/v$

综合这两种情况,数字滤波器的点数 N 应取 h/v 和 $(2h/v+1)$ 之间的整数,并且一般取奇数。

4 结论

研究表明:

1)对常用加权滤波的加权系数进行简化和改进可明显减少计算量;

2)中值滤波在跟踪地层突变方面优势明显,但其局限性也应引起重视;

3)文献[1]提出的复合滤波方法及滤波方案5滤波效果明显改善;

4)滤波器点数的选取,对常用滤波方法的滤波效果影响较大,因此应合理选取滤波器点数。

参考文献:

- [1]任晓荣. 500kbps 遥传自然伽马测井仪研制[D]. 西安:西北工业大学出版社,2002.
- [2]任晓荣. 核测井信数字滤波器的设计与实现[J]. 传感器世界,2003,(6):11.
- [3]苏克晓,等. 数字滤波在测井曲线中的应用[J]. 国外测井技术,1998,13(5):65.
- [4]叶晓东,等. 中值滤波的快速算法[J]. 信号与处理,1997,13(3):227.

Property analyzing of digital filters used in nuclear logging signals

REN Xiao-rong, ZHAO Fu-yu

(Energy and dynamic institute of Xi'an Jiaotong University, Xi'an of Shaanxi Prov. 710049, China)

Abstract Quantitative studying method is used to analysis the property and limitation of digital filters in order to process nuclear logging signals using digital filters. The solution method to depth delay of digital filtering methods and the method to calculate the number of the filters is given out to meet with questions existing in the course of the appliance. The researching result shows that it has good effect on processing nuclear logging signals by selecting filtering method and the number of the filters.

Key words: nuclear logging signal; digital filter; mixed filter scheme