

基于自然伽马测井信号的维纳滤波法求取泥质含量

吴国平¹, 苏江玉², 成 实¹, 黄婧芝¹

1. 中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

2. 西北分公司西北石油局, 新疆乌鲁木齐 830011

摘要: 泥质含量是定性、定量评价储层属性的一个重要参数。研究经济、适用、高精度的储层泥质含量求取方法, 对储层的评价、预测含油气远景和计算储层油气储量意义明确。提出了测井自然伽马求取泥质含量的新原理, 认为测井自然伽马信号是地层自然伽马真值通过一个系统的卷积滤波输出。利用测井自然伽马信号和提取的自然伽马真值子波, 采用维纳滤波法求取测井系统逆因子函数, 根据逆因子函数, 用自然伽马测井信号做卷积直接计算泥质含量。本研究在中国西北某油气勘探区有岩心分析资料的 K13 井进行了试验, 求取的泥质含量精度比测井常规解释方法大幅提高, 在同一勘探区 K11、S44、S4 等井试验性应用, 效果良好。

关键词: 自然伽马; 泥质含量; 维纳滤波; 逆因子函数。

中图分类号: P628.3

文章编号: 1000-2383(2008)04-0572-05

收稿日期: 2007-09-16

A Method for Obtaining Shaliness Using Wiener Filtering Based on Logging Data Natural Gamma Ray

WU Guo-ping¹, SU Jiang-yu², CHENG Shi¹, HUANG Jing-zhi¹

1. Institute of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Northwest Petroleum Bureau, SINOPEC Northwest Branch, Urumchi 830011, China

Abstract: The research on approaches to calculate shaliness accurately and efficiently is of great significance for reservoir capacity estimation, as shaliness is an important parameter to evaluate the reservoir qualitatively and quantitatively. Considering logging data *GR* (natural gamma ray) is the measured output from its real value which passes through a convolution filter, this paper proposes a new approach to calculate the value of shaliness according to *GR* values directly. The inversion filter factors can be acquired from a certain sequence of the measured logging data *GR* and the real value of *GR*, by taking advantage of Wiener filtering. Then, shaliness can be expressed as a convolution between *GR* sequence and the inversion filter factors. Experiments on core-analysis-data supported oil well K13, Northwest China show that shaliness values obtained with the above method are much more accurate than those obtained with conventional methods. Its trial application in oil well K11, S44, S4 of the same exploration area has proved to be very effective.

Key words: natural gamma ray; shaliness; Wiener filter; inversion filter factors.

0 引言

国外统计表明, 由于地层物性问题所导致的失败井占总井的 79% 之多 (曾文冲, 2005), 因此人们迫切需要在钻井前了解地层的物性。在油气勘探中

除了知道有利地层的分布之外, 还需要研究地层各参数 (谢寅符等, 2006), 以便预测含油气远景和计算储层油气储量 (Cheng and McNaughton, 1996; 毛志强, 2003; 汪立君, 2004; 蒋恕等, 2007)。储层泥质含量是定性、定量评价储层含油气性的一个十分重要的参数。泥质含量的计算通常跟孔隙度的计算是

不可分割的,目前求泥质含量主要采用测井方法(Hunt and Pursell, 1997; Huang *et al.*, 1998). 泥质和岩石中其他固体成分在物理性质上有很大差别,它的存在几乎对各种测井结果都产生影响(史调和杨东全, 2001). 一般而言,地层的泥质含量可通过3种测井资料求取:自然伽马测井、电阻率测井及中子—密度组合测井. 通常利用这3种资料可求取3个不同的泥质含量,实际应用时取其中最小值用于计算有效孔隙度. 本文研究自然伽马测井曲线法计算地层泥质含量方法.

一般来说,沉积岩层的放射性主要和它的泥质含量有关. 因此地质学家常用自然伽马测井曲线估计泥质含量. 式(1)描述的模型通常被用来一级近似地估计泥质含量(李舟波, 1995):

$$V_{sh}' = \frac{GR_{\text{目的层}} - GR_{\text{纯地层}}}{GR_{\text{泥质}} - GR_{\text{纯地层}}} \times 100\%. \quad (1)$$

式(1)中: $GR_{\text{纯地层}}$ 为该地区放射性强度最低的纯地层的放射性强度; $GR_{\text{泥质}}$ 为该地区放射性强度最高的泥岩层的放射性强度; $GR_{\text{目的层}}$ 为准备求泥质含量的目的层的放射性强度. 模型的特点是计算简单,但其局限性和计算精度都存在问题,不利于储层的精细描述与评价. 因此研究一种仅基于自然伽马测井信号的维纳滤波方法求取泥质含量的方法,探索一种经济、适用、高精度的储层泥质含量求取方法,以利于储层的精细描述与评价,非常必要(方朝亮等, 2005; 赵平等, 2006).

1 原理

维纳(Wiener)滤波器是一种有最佳线性过虑特性的滤波器. 这种滤波器当信号与噪声同时输入时,在输出端能将信号尽可能精确地重现出来,而噪声却受到抑制(Porsani, 1996; 胡边和饶长辉, 2004; 马洪艳等, 2006). 测井自然伽马信号同其他测井信号一样,其测量值并不是所测量点处真正的测井参数值,而是测量点及其上下附近自然伽马信号真值的加权叠加值. 这一问题可以表示为自然伽马信号是地层自然伽马真值通过测井系统的卷积滤波输出. 测井系统包括测井环境与测井仪器,描述测井系统特征的是加权系数,称为测井系统的响应函数. 该问题可描述为:

$$GR = H * V_{sh}. \quad (2)$$

式(2)中: GR 是自然伽马信号,单位 API; V_{sh} 是地层

泥质含量; H 是退化系统函数.

显然可以利用(2)式求取地层泥质含量,即求解出 V_{sh} :

$$V_{sh} = GR * H^{-1}. \quad (3)$$

式(3)中: H^{-1} 是退化系统函数的逆因子. 式(3)表明,求取 V_{sh} 的关键在于求出逆因子 H^{-1} , 而 H^{-1} 可由测井系统的退化系统函数得到. 但退化系统函数由测井环境与测井仪器共同决定,很难确定,但当结合测井信号解决具体问题时,往往提供解决这一问题的途径. 采用维纳滤波法时,逆因子 H^{-1} 满足:

$$H^{-1} = R_{gg}^{-1} R_{gv}. \quad (4)$$

式(4)中: R_{gg} 为测井信号 GR 的自相关函数; R_{gv} 为泥质含量 V_{sh} 与测井信号 GR 的互相关函数(姚天任和孙洪, 1999; 胡边和饶长辉, 2004; 马洪艳等, 2006). 其中:

$$R_{gg}(m) =$$

$$E[GR(n)GR(n+m)] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} GR(n)GR(n+m), \quad m=0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

$$R_{gv}(m) =$$

$$E[V_{sh}(n)GR(n+m)] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} V_{sh}(n)GR(n+m), \quad m=0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

取同一井岩心分析的泥质含量值作为 V_{sh} , 取与岩心深度段匹配、与 V_{sh} 有对应关系的 GR 信号, 由(4)、(5)、(6)式可求逆因子 H^{-1} . 求取的逆因子 H^{-1} 即为设计的维纳滤波器.

由此,可以利用测井自然伽马信号和地孔泥质含量的关系,设计维纳滤波器对测井自然伽马信号进行处理,达到提高计算地层泥质含量精度的目的.

2 求取泥质含量的维纳滤波器设计

这里维纳滤波的最终目的是为了求泥质含量 V_{sh} . 取有岩心分析资料的中国西北某油气勘探区 K13 井深度为 4 947.1~4 957.0 m 的一段(间距为 0.1 m),在取心段由岩心分析获取的泥质含量 V_{sh} 与其对应的自然伽马值分别为:

$$SH =$$

$$[7.9867 \ 8.0772 \ 7.7600 \ 8.0723 \ 8.1832 \ 7.9438 \ 8.2020]$$

$$GR =$$

$$[74.283 \ 74.325 \ 74.379 \ 74.569 \ 74.792 \ 75.087 \ 75.640]$$

据式(5),可得 GR 的自相关矩阵为:

$$R_{gg}=10^4\times$$

[3.90883.34682.78872.23231.67631.12000.5619

3.34683.90883.34682.78872.23231.67631.1200

2.78873.34683.90883.34682.78872.23231.6763

2.23232.78873.34683.90883.34682.78872.2323

1.67632.23232.78873.34683.90883.34682.7887

1.12001.67632.23232.78873.34683.90883.3468

0.56191.12001.67632.23232.78873.34683.9088

据式(6)得到 GR 与 V_{sh} 的互相关函数:

$$R_{gv}=10^3\times$$

[4.20173.59213.00182.39291.79081.21070.6041]^T

由式(4)可得维纳滤波器的冲激响应为:

$$H^{-1}=$$

[0.1080-0.00130.0018-0.0006-0.00200.0022-0.0006]

H^{-1} 即为所求的维纳滤波器冲激响应序列,该滤波器是 FIR 类型滤波器.由上述方法得到的滤波器不仅具有滤除噪声(白色)的特点,而且具有突出地层泥质属性和直接计算地层泥质含量的特点.

3 用维纳滤波器求泥质含量

据式(3)可知:泥质含量可由自然伽马和维纳滤

波器的离散卷积求得,将式(3)中 H^{-1} 用 $h(k)$ 表示, $k=1,2,\cdots,7$. 可以用公式(7)来求:

$$V_{sh}[i+(M-1)/2-1]=$$

$GR(i)h(7)+GR(i+1)h(6)+GR(i+2)h(5)+$

$GR(i+3)h(4)+GR(i+4)h(3)+GR(i+5)h(2)+$

$GR(i+6)h(1)$

$(i=1,2,\cdots)$

(7)

式(7)中: M 为维纳滤波器冲激响应序列长度,这里 M 取为 7, $i=1$ 表示欲求取泥质含量井段起始深度 GR 对应的点序.

图 1a 为 K13 井 4 250~5 380 m 深度段测井自然伽马曲线(朱剑兵,2006),图 1b 为依(7)式计算的相应深度段泥质含量曲线.

表 1 所示为 K13 井不同地层段平均泥质含量结果.从表 1 中可以看出:用维纳滤波计算求取的泥质含量值与测井常规解释结果在第 4、5、7、10 层十分接近,其相对误差不到 0.1,在第 3、6、8、9 层维纳滤波计算求取的泥质含量值与测井常规解释结果区段均值的相对误差也不到 0.1.可见该方法求取的泥质含量值完全具有解释合理性.在其取心段 K13 井深度为 4 947.1~4 957.0 m 的一段(间距为 0.1 m),用维纳滤波计算求取的泥质含量值为

图 1 K13 井测井自然伽马曲线(a)和 K13 井维纳滤波计算泥质含量曲线(b)
Fig. 1 Logging natural gamma ray curve in well K13 (a) and obtained shaliness curve using Wiener filtering method from logging natural gamma ray in well K13 (b)

表 1 维纳滤波计算的泥质含量 V_{sh} 与常规解释结果

Table 1 Results of obtained shaliness using Wiener filtering method and conventional explaining

层序	层顶 (m)	层底 (m)	厚度 (m)	V_{sh} (%)	常规解释 (%)
1	4 940.0	4 947.0	7.0	14.652	12~17
2	4 947.1	4 957.0	9.9	8.050	8
3	5 276.5	5 280.5	4.0	9.200	6~13
4	5 301.5	5 308.5	7.0	10.052	10
5	5 309.0	5 311.5	2.5	13.656	14
6	5 312.5	5 317.0	4.5	8.347	7~10
7	5 318.0	5 348.0	30.0	8.082	8
8	5 349.5	5 357.5	8.0	9.178	8~10
9	5 368.0	5 374.0	6.0	9.951	7~19
10	5 380.0	5 383.5	3.5	9.050	9

8.050,与实际岩心分析泥质含量段均值(8.032)相对误差为0.018,测井常规解释结果是 8.000,相对误差为0.032,本研究方法求取的泥质含量精度比测井常规解释提高近 44%,可见维纳滤波计算求取的泥质含量具有精度更高的特点。

4 结论

研究和应用表明,基于自然伽马测井信号的维纳滤波法求取泥质含量是一种经济、适用、高精度的储层泥质含量求取方法,有利于目标层的评价,在高精度地层分析、储层评价等方面具有理论意义和应用意义。

References

Cheng, M. , McNaughton, D. , 1996. Productivity prediction from well logs in variable grain-size reservoirs, *CSPG Reservoir*, 23(11):7.

Fang, Z. L. , Wu, M. D. , Feng, Q. N. , 2005. Advances in well logging, *Oil Forum* , (2):32—35 (in Chinese).

Hu, B. , Rao, C. H. , 2004. The application of increamental Wiener filters in image deconvolution of wavefront sensing, *Acta Optica Sinica* , 24(10):1305—1309 (in Chinese with English abstract).

Huang, K. , Yang, X. H. , Xu, Q. Z. , et al. , 1998. The relation among porosity, shaliness and P- and S-wave velocity of seismic wave, *Xinjiang Petroleum Geology*, 19(6):462—464, 525 (in Chinese with English abstract).

Hunt, E. , Pursell, D. , 1997. Fundamentals of log analysis; Part 7, Determining shaliness from logs, *World Oil*, 218(3):55—56, 58.

Jiang, S. , Cai, D. S. , Zhu, X. M. , et al. , 2007. Mechanism of the pore evolution in Liaodong Bay area, *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3):366—372 (in Chinese with English abstract).

Li, Z. B. , 1995. Well drilling and physical geography exploration, Geological Publishing House, Beijing, 1—264 (in Chinese).

Ma, H. Y. , Yin, C. , Li, D. W. , 2006. Deconvolution theorem and its application in seismic data processing, *West-China Exploration Engineering*, 18(3):91—92 (in Chinese).

Mao, Z. Q. , 2003. Controlling effects of poor permeable layers upon accumulation and distribution of hydrocarbon in inhomogeneous sandstone reservoir, *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(2):196—200 (in Chinese with English abstract).

Porsani, M. J. , 1996. Fast algorithms to design discrete Wiener filters in lag and length coordinates, *Geophysics*, 61(3):882—890.

Shi, G. , Yang, D. Q. , 2001. The regression analysis study on velocity and porosity, and clay content of rocks, *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 37(3):379—384 (in Chinese with English abstract).

Wang, L. J. , 2004. Evaluation and prediction of gas reservoir productivity by the use of log data, *Geological Science and Technology Information*, 23(3):57—60 (in Chinese with English abstract).

Xie, Y. F. , Li, H. Q. , Sun, Z. C. , et al. , 2006. Logging data high-resolution sequence stratigraphy, *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2):237—244 (in Chinese with English abstract).

Yao, T. R. , Sun, H. , 1999. Advanced digital signal processing, Huazhong University of Science and Technology Press, Wuhan, 1—351 (in Chinese).

Zeng, W. C. , 2005. The development and application of the modern well logging technology, *Petrochemical Industry Trends*, 13(7):31—35, 44 (in Chinese with English abstract).

Zhao, P. , Zhang, M. L. , Liu, J. C. , et al. , 2006. Status and trends of logging techniques at home and abroad, *Well Logging Technology*, 30(5):385—389 (in Chinese with English abstract).

Zhu, J. B. , 2006. The application of MATLAB in well logging data processing, *Petroleum Geophysics*, 4(1):42—44 (in Chinese with English abstract).

论坛, (2): 32—35.

胡边, 饶长辉, 2004. 增量维纳滤波法在波前探测解卷积中的应用. 光学学报, 24(10): 1305—1309.

黄凯, 杨晓海, 徐群洲, 等, 1998. 储集层孔隙度、泥质含量与地震纵横波传播速度的关系. 新疆石油地质, 19(6): 462—464, 525.

蒋恕, 蔡东升, 朱筱敏, 等, 2007. 辽东湾地区孔隙演化的机理. 地球科学——中国地质大学学报, 32(3): 366—372.

李舟波, 1995. 钻井地球物理勘探. 北京: 地质出版社, 1—264.

马洪艳, 尹成, 李大卫, 2006. 反卷积的直接解法及其在地震资料处理中的应用. 西部探矿工程, 18(3): 91—92.

毛志强, 2003. 非均质储层夹层控油作用初论——非均质储层油气分布规律及测井响应特征. 地球科学——中国地质大学学报, 28(2): 196—200.

史调, 杨东全, 2001. 岩石波速和孔隙度、泥质含量之间的关系研究. 北京大学学报(自然科学版), 37(3): 379—384.

汪立君, 2004. 利用测井资料进行天然气储层产能的评价与预测. 地质科技情报, 23(3): 57—60.

谢寅符, 李洪奇, 孙中春, 等, 2006. 井资料高分辨率层序地层学. 地球科学——中国地质大学学报, 31(2): 237—244.

姚天任, 孙洪, 1999. 现代数字信号处理. 武汉: 华中理工大学出版社, 1—351.

曾文冲, 2005. 现代测井技术的发展与应用. 当代石油石化, 13(7): 31—35, 44.

赵平, 张美铃, 刘甲辰, 等, 2006. 2004—2005 年国内外测井技术现状及发展趋势. 测井技术, 30(5): 385—389.

朱剑兵, 2006. MATLAB 软件在测井资料处理中的应用. 油气地球物理, 4(1): 42—44.

(上接 564 页)

(1) 实践性教学功能

为了培养高水平人才, 我校一贯重视学生能力的培养, 许多专业对实践教学环节越来越重视. 秭归基地的建成, 最重要的作用就是满足了我校不同专业的地质实习与工程、环境等院系的课程实习需求, 也带动了我校秭归基地生产实践教学活动的开展. 几年来, 我校地球科学学院、工程学院等院系参加秭归基地科研生产实习的学生逐年增加, 取得了丰硕的研究成果. 随着秭归基地建设的不断完善, 我校将有越来越多的不同专业学生进入秭归基地开展生产实习活动, 秭归基地在我校生产教学实习的作用将不断提高.

(2) 科研生产功能

秭归基地的建成, 为我校积极开展三峡地区的科研与生产活动提供了平台. 大量的科研成果不仅促进了我校相关学科的发展, 也极大地提高了相关专业的教学水平.

(3) 服务当地经济建设功能

通过秭归基地实践教学与科研生产活动, 借助

我校的技术优势, 积极为当地的经济建设服务, 是秭归基地长期稳定发展的基础.

多年来, 我校在以秭归为代表的三峡库区地质灾害防治工作中发挥了重要作用; 我校地球科学学院地球化学专业师生在秭归县月亮包金矿(秭归县重要企业)进行教学实习过程中, 发现了新的矿点, 为今后扩大生产提供了重要的资料.

(4) 协作功能

秭归基地多领域、多学科教学资源特点与完善的后勤保障设施, 正受到我国相关院校的密切关注. 2007 年先后有武汉民族学院生物专业师生和武汉大学水利工程专业师生进驻秭归基地, 开展三峡地区生物多样性和三峡大坝水利工程实验教学活动. 兄弟院校的参与, 不仅扩展了秭归基地的教学资源建设, 同时也提升了我校在我国高等教育领域的影响力.

随着秭归基地建设的全面开展, 它必将为我校实践教学、科研生产发挥更加重要作用.