

文章编号: 1000-7393(2012)01-0057-03

超声波在钻井液中传播衰减理论研究

刘 飞^{1,2} 付建红¹ 张 智¹ 许亮斌³

(1. 西南石油大学·油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610500; 2. 中石化石油工程技术研究院, 北京 100101;
3. 中海石油研究总院, 北京 100027)

引用格式: 刘飞, 付建红, 张智, 等. 超声波在钻井液中传播衰减理论研究[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(1): 57-59.

摘要: 超声波流量计是现阶段精度最高、通用性好、灵敏度最高的流量计, 但由于超声波在钻井液中衰减很大, 使其未能测出钻井液的环空返出流量。通过 Urick 模型研究了超声波流量计在测量钻井液流量中超声波的衰减规律, 分析了传播距离、超声波频率、液体密度等因素对超声波衰减的影响。通过研究得出钻井液中固相颗粒的数量每增加 1 个数量级, 超声波能量衰减也增加一个数量级, 超声波能量衰减随钻井液中固相颗粒直径、钻井液密度、传播距离的增加而增大, 超声波频率越大, 超声波能量衰减越快。该研究结果为超声波在钻井液测量中的进一步应用提供了理论基础。

关键词: 超声波; 钻井液; 衰减; 频率; 距离; 钻井液密度

中图分类号: TE254.1 文献标识码: A

Research of ultrasonic attenuation theory in drilling fluid

LIU Fei^{1,2}, FU Jianhong¹, ZHANG Zhi¹, XU Liangbin³

(1. State Key Laboratory for Oil and Gas Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. Research Institute of Petroleum Engineering, SINOPEC, Beijing 100101, China;
3. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: At present, the return of drilling mud is measured by target type meter, but the result is not very accurate because of environment. The ultrasonic flowmeter is the most accurate, normal and sensitive apparatus, but the return flow of drilling mud can not be measured by ultrasonic flowmeter because of the huge ultrasonic attenuation in drilling fluid. The ultrasonic attenuation law was researched with the Urick Model when the flow of drilling fluid was measured by ultrasonic flowmeter. The effects of the factors on ultrasonic attenuation were analyzed, such as ultrasonic propagation distance, frequency, and liquid density. It was concluded that the ultrasonic attenuation would increase by one order of magnitude with the increase of the quantity of solid-phase pellet in the drilling fluid by one order of magnitude, and the ultrasonic attenuation increased with the increase of the diameter of solid-phase particles in the drilling fluid, the drilling fluid density and the propagation distance. The larger ultrasonic frequency is, the quicker ultrasonic attenuation is.

Key words: ultrasonic; drilling fluid; attenuation; frequency; distance; drilling fluid density

发生很多严重的井喷事故, 大部分是由于发现溢流过晚或处置不当造成的, 所以准确测量钻井液的环空返出流量是极其重要的环节^[1-2]。而超声波流量计是测量范围宽, 通用性好, 灵敏度最高的流量计^[3]。由于超声波流量计在测量水、油、气体等单相介质的流量可以达到较高的精度^[4], 但钻井液是固

液两相甚至有时含有气相的介质, 目前还没有能测量固液两相介质的超声波流量计面市, 其主要原因是超声波在钻井液中的衰减很严重, 影响其衰减的因素较多。所以, 要实现超声波流量计来测量钻井液的环空返出流量, 有必要研究超声波在钻井液中的衰减问题。

基金项目: 国家科技重大专项项目“深水井控及测试技术研究”(编号: 2008ZX05026-001-04)资助。

作者简介: 刘飞, 1984 年生。现主要从事钻井工艺方面研究, 博士研究生。电话: 028-83033964。E-mail: liufei-swpu@qq.com。

1 超声波在钻井液中的衰减模型

超声波的衰减是超声波在介质的传播过程中,随着传播距离的增加,其能量逐渐减弱的过程。从理论上讲,主要有3种原因引起超声波的衰减:(1)由声束扩散引起的超声波衰减;(2)由散射引起的超声波衰减;(3)由介质吸收引起的超声波衰减^[5]。

超声波在钻井液中传播时,其振幅随钻井液中固体量的多少及粒子大小变化而变化。根据声学原理^[5]可以得到,超声波在介质中传播时,穿过距离 x 后,其声强 I_L 的变化可表示为

$$I_L = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

式中, I_0 为初始声强, W/m^2 ; α 为超声波在介质中的衰减系数,无量纲; x 为传播距离,m。

由(1)式可以看出,超声波在介质中的衰减情况与衰减系数有最直接的关系,但是超声波在钻井液中传播的声衰减机理比较复杂。由于钻井液中的固相颗粒的直径是微米级的,而超声波的波长要远大于固相颗粒的直径。用Urick模型^[6-7]来计算超声波在钻井液中的衰减系数。该模型假设固体颗粒的体积浓度较低,颗粒是光滑球形的,并且颗粒粒径比声波波长小得多,其衰减系数的计算模型为

$$\alpha_\eta = \frac{2}{3} \pi R^3 n \left[\frac{1}{3} k^4 R^3 + k \left(\frac{\rho_p}{\rho_0} - 1 \right)^2 \frac{S}{S^2 + \left(\frac{\rho_p}{\rho_0} - \tau \right)^2} \right] \quad (2)$$

$$\text{其中} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, S = \frac{9\delta}{4R} \left(1 + \frac{\delta}{R} \right), \\ \tau = \frac{1}{2} + \frac{9\delta}{4R}, \quad \delta = \frac{2\mu_0}{\rho_0 \omega}$$

式中, R 为球形颗粒的半径,m; ρ_p 为颗粒密度, g/m^3 ; ρ_0 为液体的密度, g/m^3 ; μ_0 为液体的运动黏度, $Pa \cdot s$; λ 为超声波的波长,m。

2 计算结果与分析

假设钻井液中固相全为黏土,计算的基本参数为:温度 $20^\circ C$,钻井液中的连续相为水,水黏度为 $1 mPa \cdot s$,密度 $1 g/cm^3$,超声波在水中的传播速度为 $1500 m/s$,固相颗粒的粒度分布为单粒径分布,颗粒为黏土,黏土的密度为 $2.6 g/cm^3$,颗粒直径为 $1 \mu m$,固相颗粒数为 10^{14} ,传播距离为 $300 mm$,体积为 $1 m^3$ 。在讨论各参数超声波在钻井液中衰减时,在其他参数保持不变的情况下,只改变其中一种参数,

从而得到各因素对超声波衰减的影响。计算结果见图1、图2。

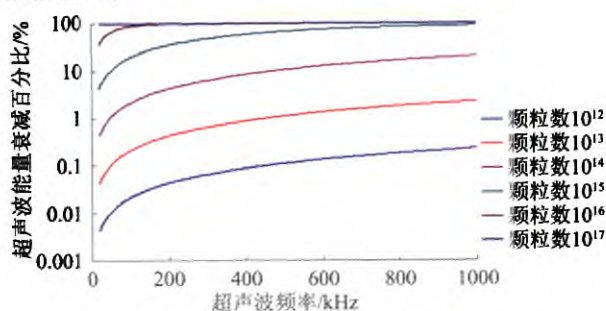


图1 超声波能量衰减与频率的关系

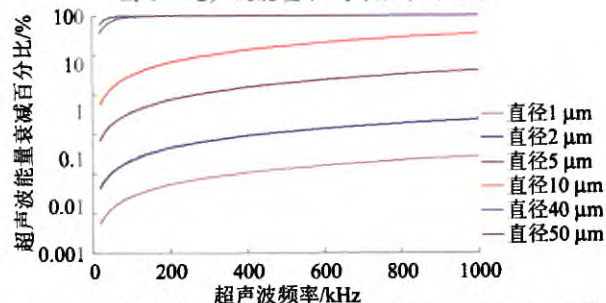


图2 超声波频率与能量衰减的关系(固相颗粒数为 10^{12})

假设黏土颗粒直径为 $2 \mu m$,重晶石直径为 $20 \mu m$,将黏土颗粒和重晶石颗粒看作小球,配制钻井液基浆密度为 $1.05 g/cm^3$,然后用重晶石加重,通过计算得到不同密度下 $1 m^3$ 钻井液中的重晶石的重量及重晶石颗粒数,详细结果见表1。将各参数代入Urick模型,得到不同钻井液密度,不同频率下,不同传播距离情况下的超声波衰减情况,计算参数如前,计算结果如图3、图4所示。

表1 不同密度下的 $1 m^3$ 钻井液中的固相参数

密度/ $g \cdot cm^{-3}$	重晶石重量/kg	重晶石颗粒数/ 10^{12} 个
1.15	67.74	3.9
1.2	135.48	7.7
1.3	270.97	15.4
1.4	406.45	23.1
1.5	541.94	30.8
1.6	677.42	38.5
1.7	812.9	46.2

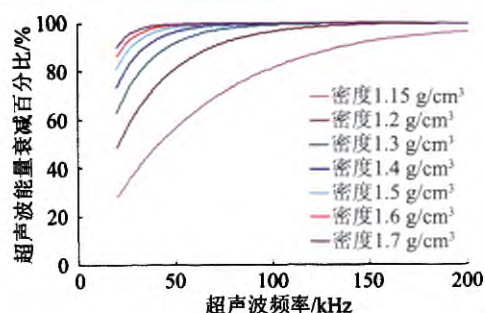


图3 不同密度下的 $1 m^3$ 钻井液中超声波衰减

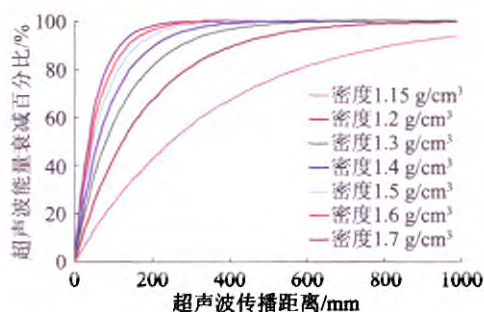


图4 不同密度下的 1 m^3 钻井液中超声波衰减 (超声波频率 50 kHz)

3 现场试验

由于超声波在钻井液中衰减严重,在本次试验中采用 200 kHz 和 50 kHz 的超声波传感器来测试,将接收端传感器的波形在示波器中显示出来,可以得出接收传感器是否能接收到信号。

首先将一对 200 kHz 的超声波传感器放入特制的水槽中,水槽中倒入 1.05 g/cm^3 的钻井液,传感器之间的距离为 300 mm,接收端的信号在示波器上的显示如图 5 所示,第 1 个信号包络是超声波发射信号在接收端的串扰;第 2 个是接收到的有效信号,其他包络为各种干扰信号。然后对钻井液加重分别至 1.1 g/cm^3 、 1.15 g/cm^3 、 1.2 g/cm^3 、 1.25 g/cm^3 ,发现随着钻井液的密度的升高,超声波信号幅值越来越小,直至在 1.25 g/cm^3 钻井液中,示波器上接收不到信号。然后将一对 50 kHz 的超声波传感器放入到水槽中,重复上组实验,将钻井液密度最后加重至 1.65 g/cm^3 ,发现随着钻井液密度的升高,超声波信号幅值越来越小,发现在 1.6 g/cm^3 的钻井液中可以收到信号,但是在 1.65 g/cm^3 的钻井液中,接收信号幅值非常微弱,几乎接收不到。

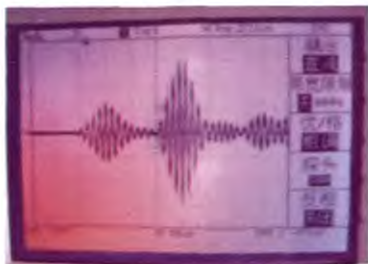


图5 示波器显示超声波传感器接收波形图

通过实验可以得出 200 kHz 的超声波可以通过 1.2 g/cm^3 的钻井液,50 kHz 的超声波能通过 1.6 g/cm^3 的钻井液,从而得到超声波在钻井液中衰减幅度随密度的增加而增加,超声波频率越高、衰减幅度越大。

4 结论

(1)在传播距离一定的情况下,超声波在钻井液中衰减程度随超声波频率的增加而增大,随固相颗粒直径的增加而增大,固相颗粒数目增加 1 个数量级,超声波能量衰减增加 1 个数量级。

(2)在超声波频率和钻井液体积一定的情况下,超声波在钻井液中衰减程度随钻井液密度的增加而增大,随传播距离的增加而增大。

(3)在超声波传播距离和钻井液体积一定的情况下,超声波在钻井液中衰减程度随超声波频率的增加而增大,随钻井液密度的增加而增大。

参考文献:

- [1] 赵俊平. 油气钻井工程项目风险分析与管理研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2007.
- [2] 杨明清. 一种新的钻井液出口流量在线测量方法探讨[J]. 录井工程, 2008, 19(1): 52-55.
- [3] 李广峰. 时差法超声波流量计的研究[J]. 电测与仪表, 2000, 37(9): 13-19.
- [4] 宁晨, 顾宇, 周康源, 等. 新型高精度超声波流量计的设计[J]. 声学技术, 2003, 22(4): 251-261.
- [5] 张海澜. 理论声学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [6] URICK R L. The absorption of sound in suspensions of irregular particles[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1948, 20(3): 283-289.
- [7] URICK R J, AMENT W S. The propagation of sound in composite media[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1949, 21(1): 62.
- [8] 兰凯. 钻孔桩砼灌面超声波测量的关键技术及其实现[D]. 武汉: 中国地质大学, 2008.
- [9] 姚骏. 纸浆悬浮液超声衰减理论及其在浓度流量检测中的应用研究[D]. 上海: 上海大学, 2006.
- [10] 聂世均. 超声波在泥浆中的传输规律研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2007.
- [11] 代志平. 超声波在钻柱中的传播特性研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2007.
- [12] 范步霄, 陈加平, 齐政学, 等. JQL 单井流量计量装置研究及应用[J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(2): 91-93.
- [13] 王克雄, 王镇泉. 利用声波测井进行钻速预测方法的研究[J]. 石油钻采工艺, 1996, 18(5): 28-32.

(收稿日期 2011-09-06)

[编辑 薛改珍]