

文章编号:1673-5005(2010)02-0062-05

近钻头短距离声波通信

李志刚, 管志川, 王以法

(中国石油大学 石油工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:建立螺杆钻具体本的有限元模型,采用有限元法模拟计算声纵波在螺杆钻具中的传输特性,同时在实际钻具上对模拟结果进行试验验证,并选择 4 kHz 频率的声波在螺杆钻具上进行通信试验。结果表明:螺杆钻具及其上部钻具具有较宽的通信频带,类似于一个低通滤波器,可以利用声波实现近钻头信息的短距离传输,并可能获得较高的数据传输速率;80 bits/s 的数据传输速率可实现稳定通信;钻具接头处的尺寸和介质变化所引起的衰减和反射不可忽视,须通过增加隔声或消声结构减少干扰。

关键词:近钻头;短距离;声波;通信

中图分类号:TE 21; O 429

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2010.02.012

Acoustic communication near-bit short distance

LI Zhi-gang, GUAN Zhi-chuan, WANG Yi-fa

(College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: Based on a finite element analysis model of a screw drill tool, the transmission properties of acoustic longitudinal wave in the body of the screw drill tool were analyzed using ANSYS software. Meanwhile an experiment on a real screw drill tool was done to verify the calculated results. A communication test was executed by using 4 kHz acoustic wave. The results show that the screw drill tool and its upper tools have a wide pass band like a low pass filter, which can be used as the channel of near-bit acoustic communication. A high data transmission rate is obtained. The communication is performed steadily in 80 bits/s data rate. The difference in size or medium at joints of drill tools will cause reflection and attenuation. In some cases, the reflections may bring serious interference to communication. So some structures are needed to insulate and eliminate the reflections.

Key words: near bit; short distance; acoustic wave; communication

随着油田勘探开发的不断深入,对薄油藏、断块油藏、边际油藏、剩余油藏等难动用储量的开发已大规模展开,对定向井、水平井轨迹控制精度的要求日益提高,钻头(近钻头)处的信息显得越来越重要。普通的随钻测量仪器由于测量点离钻头较远而无法获取近钻头处的信息。因此,人们一直在寻求解决测量点滞后钻头的方法,其中的一种方法是在不抛弃现有的常规随钻测量(MWD)的基础上,采用专门的近钻头测量仪器测量近钻头参数,然后由近钻头信号传输系统传输给远钻头端的 MWD,再由 MWD 将接收的数据传输至地面,最终实现井眼轨迹的准确测量和控制。在这种方法中,近钻头信号传输系

统是关键。目前近钻头信息短距离传输的方法有无线和有线两种。有线传输方法需要在钻具上打孔或开槽埋设电缆或设计专门的钻具,前者安全性较低,后者成本较高。在无线传输方法中,CGDS-1 型地质导向钻井系统曾采用电磁波实现了近钻头信息的短距离传输^[1],但电磁波在传输中易受周围地层特性(如电阻率)的影响。笔者对利用声波实现近钻头信息的短距离传输进行研究和探索,以获取近钻头信息传输的新方法。

1 近钻头声波传输信道

理论上,钻井液可以作为声波信号的传输通道,

收稿日期:2009-08-18

基金项目:国家自然科学基金项目(50974131);教育部博士点基金项目(20090133110005)

作者简介:李志刚(1970-),男(汉族),河南偃师人,副教授,博士研究生,从事井下测量和信息传输研究。

但钻井液在不同工况下所采用的类型可能不同,比如常规钻井时一般使用液体钻井液,而在欠平衡钻井中则会使用空气或泡沫等介质,另外钻井液中还可能含有地层析出气和钻屑等气相和固相,因此钻井液通道不可靠,在近钻头处更是如此。井下钻具多由钢铁等金属制成,几乎不受钻井液类型和地层特性等外界因素的影响,因此是一个良好的声波传输通道。国外在井下声波通信方面的研究也多以钻具为信道,并已有成型的井下声波传输系统出现^[2,7]。

在对近钻头信息要求较高的定向井和水平井钻进时,螺杆钻具是最常用的钻具,因此笔者以螺杆钻具的壳体及上部钻具作为近钻头声波通信的信道开展研究。具体应用时可在接近钻头的螺杆钻具的传动轴外壳上安装井下参数测量与声波发射装置,声波沿着螺杆钻具的壳体向上传播,在螺杆钻具上部的钻铤内安装声波的接收和信号处理设备,即可接收该声波信号,经过处理和识别后进一步传送给井下 MWD。

2 声纵波在螺杆钻具中的传输特性

声波在固体中传播时,既有横波也有纵波。从 Jose 等^[8]的研究成果来看,利用钻具作为信号传输通道,可以采用的声波波型有纵波、扭转波和弯曲波。弯曲波的传播速率最低,并且会在均匀截面管壁内发生散射,另外由于弯曲振动,钻具会与周围的地层、套管以及钻杆内外的流体相互作用,从而造成大量能量损失;扭转波容易与钻井操作相互耦合引入噪声而增加接收和分析的难度,另外在井下也较难产生;纵波虽然同样会存在反射和散射的问题,但与前两者相比受外界因素的影响相对要小得多,在井下相对较易产生,因此此处主要研究纵波在信道中的传输特性。国外的研究也多以纵波为主,主要研究由井下到地面的长距离传输,将整个钻柱结构看作周期性管结构,认为钻柱具有梳状滤波器特性^[2,9]。但是,当利用螺杆钻具为信道并期望获得较高的通信频率时,以上方法和结果无法采用。

2.1 模拟计算

实际的螺杆钻具的结构非常复杂,因此要在理论上获得其准确解几乎不可能,因此采用有限元法分析其特性,并在建立计算模型时作如下简化:

(1)将三维结构简化成二维,即只取声波发射和接收装置所在的钻具截面作为研究对象,但在分析时若采用平面单元的轴对称特性,仍然可以得到三维的结果。

(2)钻具各部分在壳体上的连接视为紧密连接,不存在缝隙,这在声波频率不高的情况下是可以接受的。

(3)不考虑钻具壳体内部结构及外部环境的影响,即认为钻具壳体的外部是空的。实际上,钻具内部有胶芯、螺杆、万向节、传动轴和轴承等,声波在这些位置会产生较为复杂的反射、折射和透射,但由于胶芯与钻具壳体的声波阻抗相差较大,而轴承与壳体的接触部位与整个钻具相比较小,因此将其忽略。

(4)认为钻具是直的,没有弯度。实际的钻具一般都有一定的弯度,但角度很小,可以忽略。

建立如图 1 所示的有限元模型,由于实际的模型较长,不便表达,因此图中作了截断处理。模型以 172 mm 螺杆钻具为基础,壁厚按 2.7 cm 处理,扶正器处另加 2 cm 厚度。声波发射处与接收处之间的距离为 7.3 m。材料的弹性模量为 205.9 GPa,泊松比为 0.3,其中的有限单元为四边形平面单元。



图 1 螺杆钻具的有限元模型

Fig. 1 Finite element analysis model of screw tool

利用 ANSYS 软件对以上模型进行计算,计算时在声波发射处施加如图 2 所示的位移载荷,其在 0.01 ms 时为 0,在 0.02 ms 时达到最大幅值 10 μm,0.03 ms 时又回到 0,该载荷用于模拟脉冲载荷。

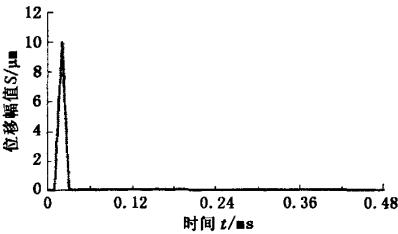


图 2 脉冲载荷

Fig. 2 Pulse load

图 3 是在图 2 所示载荷作用下,在声波接收处所得到的 0~4 ms 时段的位移响应时程曲线,该曲线具有明显的频散和多边界反射特征,因此主要分析其首波的频谱。图 4 为其频谱曲线,该曲线具有明显的低频带通特征。整个频谱曲线可以分为 3 段:0~4.76 kHz 具有较稳定的幅值;4.76~19 kHz 幅值逐渐降低;19 kHz 以上幅值很小。根据计算结果可以看出,螺杆钻具在 0~4.76 kHz 具有较好的频率特性,是纵波通信的通频带。

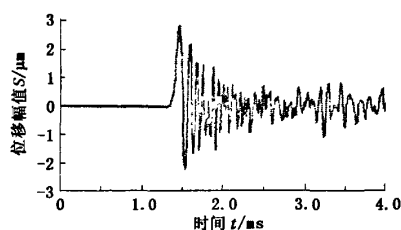


图3 接收处的位移

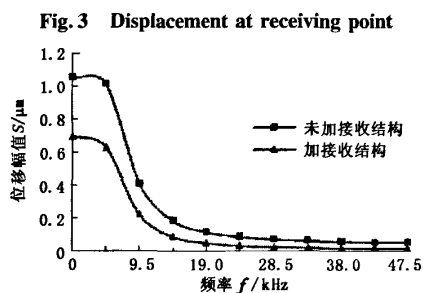


图4 首波的频谱

Fig.4 Frequency spectrum of first wave

2.2 试验验证

在实际螺杆钻具上对计算结果进行了试验验证。利用锤子 in 声波发射处施加冲击载荷,利用加速度计在接收处测量其响应。试验时,通过改变冲击强度,进行了多次试验。结果发现,在不同的冲击强度下,接收到的信号除幅值和持续时间有所差异外,频谱特征基本相同。图5为典型的接收信号曲线,

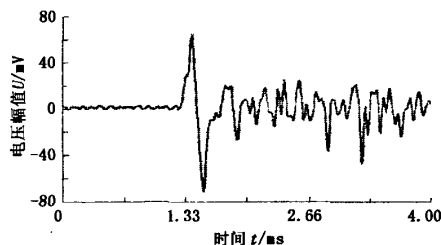


图5 接收处的加速度

Fig.5 Acceleration at receiving point

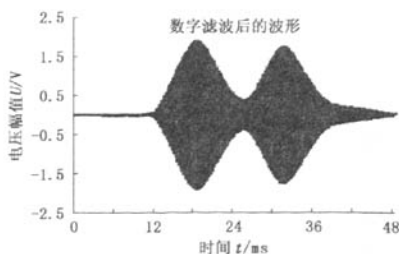
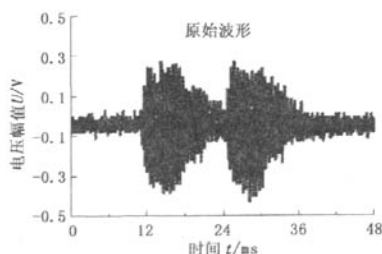


图8 接收到的波形

Fig.8 Received wave

图6为其首波的频谱曲线。受所使用的加速度计的带宽限制,所获得的信号的频率范围有限。该曲线仍有较为明显的低频带通特征,0~4.3 kHz具有较高的稳定幅值,4.3 kHz开始下降。与数值计算的结果相比,试验结果整体向上低频偏移,这种偏移是由建模时的简化造成的,但偏移不大,因此仍有较高的参考价值。

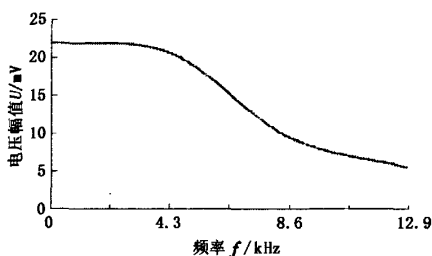


图6 加速度的频谱

Fig.6 Frequency spectrum of acceleration

3 通信试验

根据以上结果,在螺杆钻具上进行通信试验。在具体通信时,除了信道的特性之外,还要考虑发射和接收装置的特性、井下噪声的特点等^[10-11]。综合考虑以上因素,使用4 kHz的声波进行试验。

声波发射装置是自行研制的由单片机控制的信号产生与驱动系统,发射信号采用带时延的通断键控(OOK)调制方式,图7是连续发射两位1时的波形结构。图8为接收到的波形曲线。

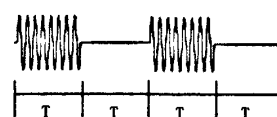


图7 发射波形

Fig.7 Transmitted wave

试验时,由发射装置连续发射00~FF(十六进制)之间的数。在接收端,首先用信号调理电路和数据采集计算机验证了接收信号的正确性。然后,由发射端按照约定的编码方式发送完整的数据帧,利用研制的一套信号接收与处理系统接收信号,经处理后通过接口电路将接收到的数据发送至与其相连的微机中,再由微机中与其匹配的接收软件实时显示接收到的数据。经多次反复试验和数据对比,证明整个信号传输系统在该通道上可以实现80 bits/s的稳定通信。目前常规MWD的数据传输速率一般在10 bits/s以下,因此能够满足其数据需求。

4 附加钻具影响分析

以上分析说明,可以利用螺杆钻具实现声波通信。在实际应用中,螺杆钻具仅是整个钻柱的一部分,即在其上还接有很长的钻铤和钻杆等其他钻具,并且在实际结构中必须要有相应的短节用以容纳声波接收装置,因此必须考虑附加钻具所带来的相关问题。

为了分析螺杆钻具接有上部钻具时的情况,在原有模型的基础上,增加一个2 m长的声波接收短节和10 m长的钻铤,建立了如图9所示的模型。实际的钻柱要长得得多,钻具和钻具之间靠丝扣连接,只要接头处的尺寸或材质发生变化,就会产生声波反射,并且底部钻具组合有多种形式,上部钻柱结构更是多种多样,这在计算时是很难模拟的。在大多数情况下螺杆钻具的上部接的是钻铤,其尺寸一致性较好,而且在进行瞬态分析时,只要结构取得足够长,仍可以获得有用的结果。

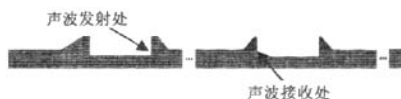


图9 增加上部结构的信道有限元模型

Fig.9 Finite element analysis model of channel including upper drill tools

同样采用图2所示的信号作为激励,接收处的位移曲线如图10所示。图4中显示了其首波的频谱曲线。由图4可见,与未加上部钻具结构的情形相比,在加上接收短节以后,整个波形的幅值变小,尤其是0~4.76 kHz的幅值下降更为明显。这是由于接收处前端变径段的存在而使波形产生了衰减。

值得注意的是,在实际应用中还应考虑由于接头处的反射而带来的问题。图10中箭头所指的波

即由钻铤端面反射产生。在某种钻具组合情况下,各接头处所产生的反射波可能会正好叠加在一起,成为波形中不可忽视的一部分,并对声波通信产生重大干扰。为了避免这种干扰,可以在声波接收装置的上部某一位置处设置隔声或消声装置,从而减少因反射而引起的干扰,提高通信可靠性。

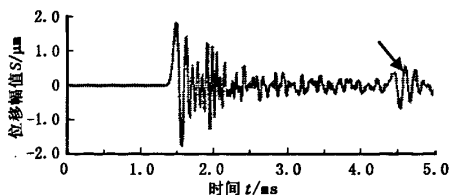


图10 上部短节接收处的位移

Fig.10 Displacement at receiving point of upper joint

5 结论

(1)与用于长距离传输的周期性管(钻)柱结构不同,在短距离声波通信时,螺杆钻具及其上部钻具具有较宽且平坦的通频带,基本类似于一个低通滤波器。

(2)利用近钻头钻具作为信道,并采用通断键控调制方式通信,能够获得较高的数据传输速率,但要想实现更为可靠且高速的数据通信,必须研究新的通信方法。

(3)钻具组合上的变径结构会使波形的幅值发生衰减并导致反射,因此应避免其在声传输信道上出现。

(4)钻具变径处所产生的反射,在某种情况下会给声波通信带来较大干扰,需要采用消声或隔声装置予以消除。

参考文献:

- [1] 苏义脑.地质导向钻井技术概况及其在我国的研究进展[J].石油勘探与开发,2005,32(1):92-95.
SU Yi-nao. Geosteering drilling technology and its development in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005,32(1):92-95.
- [2] DRUMHELLER Douglas S. Acoustical properties of drilling strings[J]. J Acoust Soc Am, 1989,85:1048-1064.
- [3] DRUMHELLER Douglas S. Wave impedances of drill strings and other periodic media[J]. J Acoust Soc Am, 2002,112(6):2527-2539.
- [4] VIMAL Shah, WALLACE Gardner. Design considerations for a new high data rate LWD acoustic telemetry system [R]. SPE 88636,2004.

- [5] GAO L, GARDNER W, ROBBINS C. Limits on data communication along the drillstring using acoustic waves [R]. SPE 95490, 2005.
- [6] HARPER G, ALMANZA E, FINLEY A D, et al. Implementation of advanced acoustic telemetry system adds value and efficiency to well testing operations [R]. SPE 80544-MS, 2003.
- [7] NEFF J M, CAMWELL P L. Field-test results of an acoustic MWD system [R]. SPE/IADC 105021, 2007.
- [8] CARCIONE Jose M, POLETTTO Flavio. Simulation of stress waves in attenuating drill strings, including piezoelectric sources and sensors [J]. J Acoust Soc Am, 2000, 108(1): 53-64.
- [9] 车小花, 乔文孝, 李俊, 等. 随钻测井钻柱声波的频谱特性[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(6): 66-70.
- CHE Xiao-hua, QIAO Wen-xiao, LI Jun, et al. Acoustic spectral characteristics of drill string of logging while drilling [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(6): 66-70.
- [10] 埃克诺米德斯 M J. 油井建井过程 [M]. 万仁溥, 张琪, 译. 北京: 石油工业出版社, 2001: 87-88.
- [11] 肖红兵, 杨锦舟, 鞠晓东, 等. V 系统在随钻声波测井数据降噪中的应用 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(2): 58-62.
- XIAO Hong-bing, YANG Jin-zhou, JU Xiao-dong, et al. Application of V-system in acoustic logging while drilling data denoising [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(2): 58-62.
- (编辑 李志芬)

(上接第 61 页)

- [6] 周卫东, 王瑞和, 杨永印. 磨料射流切割套管过程中工作参数和流体介质影响的实验研究 [J]. 石油钻探技术, 2001, 29(3): 18-19.
- ZHOU Wei-dong, WANG Rui-he, YANG Yong-yin. Experimental study on the effects of operating parameters and fluid performance on casing cutting efficiency [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2001, 29(3): 18-19.
- [7] 曹砚峰, 王瑞和, 周卫东. 旋转磨料射流冲刷套管的实验研究 [J]. 石油钻探技术, 2001, 29(4): 19-21.
- CAO Yan-feng, WANG Rui-he, ZHOU Wei-dong. Experimental study of erosion casing with rotary abrasive water jet [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2001, 29(4): 19-21.
- [8] KING S C, JOHNSON J E, HASH M L, et al. Summary results from a pilot study conducted around an oil production platform on the Northwest Shelf of Australia [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50: 1163-1172.
- [9] 李新仲, 徐本和. 海上油气田的废弃处置 [J]. 中国海上油气, 2003, 15(1): 46-49.
- LI Xin-zhong, XU Ben-he. Abandonment processing of offshore field [J]. China Offshore Oil and Gas, 2003, 15(1): 46-49.
- [10] 沈忠厚. 水射流理论与技术 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1998: 307-311.
- [11] 周卫东, 王瑞和, 杨永印, 等. 前混式磨料水射流切割套管的深度计算模型 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2001, 25(2): 3-6.
- ZHOU Wei-dong, WANG Rui-he, YANG Yong-yin, et al. Models for calculating cutting depth of casing by premixing abrasive water jet [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2001, 25(2): 3-6.
- (编辑 李志芬)