

Ø175 mm 电磁随钻测量系统的研制及试验研究

卢春华¹, 雷晓岚², 于小龙², 李红梅², 刘 涛¹

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075)

摘 要:在深孔、定向孔钻进过程中,对钻孔轨迹的控制十分重要。电磁随钻测量系统能够监测钻孔状态参数并通过无线电波实时传输至地面,具有信号传输速率高、不受钻井液影响等优势。详细阐述了一种自主研发的电磁随钻测量系统及试验情况,试验最大孔深为 609 m,此时地面接收信号高达 200 mV。试验研究表明:该系统性能可靠,完全能够满足随钻测量近钻头处钻孔状态及环空压力、温度等参数的需求。

关键词:随钻测量系统;电磁;钻探;聚醚醚酮(PEEK);绝缘短节

中图分类号:P634; TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)12-0063-05

Development of Ø175mm Electromagnetic Measurement While Drilling System and the Experimental Study/LU Chun-hua¹, LEI Xiao-lan², YU Xiao-long², LI Hong-mei², LIU Tao¹ (1. China University of Geoscience, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Research Institute of Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710075, China)

Abstract: Well track control is important in drilling deep well and directional well. The electromagnetic measurement while drilling system can monitor and transmit the state parameters of borehole to ground device by wireless electromagnetic wave. This system is applied widely for its high transmission rate and getting none influence from drilling fluid. The paper elaborates a self-developed electromagnetic measurement while drilling system in China and its test situation, which can receive signal up to 200mV from borehole of 609m in depth. The experimental research shows that this system is reliable and can satisfy the requirement of the annulus pressure, temperature and other parameters near the bit.

Key words: measurement while drilling system; electromagnetic; drilling; polyether ether ketone (PEEK); isolating tube

0 引言

在钻井工程中,随钻测量是实现井眼轨迹监测与控制的重要手段。目前,国内外常用的随钻测量系统有 2 种:泥浆脉冲随钻测量系统和电磁随钻测量系统。

泥浆脉冲随钻测量系统在液体钻井液中能够稳定可靠工作,然而,对于气体或充气钻井液,由于这类钻井液介质可压缩性强,泡沫含量 >20% 时,就不能产生有效的脉冲,泥浆脉冲随钻测量无法使用。此外,泥浆脉冲随钻测量系统的信号传输速率低,脉冲阀易损坏,使用成本高。其优点是信号传输的距离相对较远

电磁随钻测量系统(EM-MWD)具有信号传输速率高、不需要循环钻井液便可传送数据、测量时间短、成本低等特点。而且 EM-MWD 不受钻井液介质影响,不仅适用于在常规钻井液中使用,还适合于在气体、泡沫、雾化、空气、充气等钻井液中使用。但其缺点是信号从孔底通过地层传播至地表时会发生衰减,从而限制了其最大使用深度。

目前,国外 Halliburton、Weatherford、Schlumberger 等几家国际油田服务公司均有自己的电磁随钻测量产品,在世界各国推广应用。国内德州石油钻井研究所、中国石油勘探开发研究院、中国地质科学院勘探技术研究所、哈尔滨工业大学及中国地质大学(武汉)等单位都对 EM-MWD 进行了研究,部分样机在生产试验中取得成功,但目前仍未达到商业化应用阶段。

延长油田在油气勘探领域每年要钻进大量的定向井,且很多井要用到泡沫钻井、欠平衡井技术,急需研发具有自主知识产权的 EM-MWD,在此背景下,延长油田与中国地质大学(武汉)合作研发出了 Ø175 mm 电磁随钻测量系统,本文详细论述了该随钻测量系统及相关试验情况。

1 电磁随钻测量系统总体方案

系统总体方案如图 1 所示,系统包括井中仪器和地面仪器 2 部分。井中仪器由电池组供电,井内

收稿日期:2013-10-17; 修回日期:2013-12-04

基金项目:陕西延长石油集团项目“鄂尔多斯盆地东南部页岩气勘探开发关键技术与示范”

作者简介:卢春华(1976-),男(汉族),江西高安人,中国地质大学(武汉)副教授,地质工程专业,博士,从事钻探工艺和机具研究工作,湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号,lecheta@163.com。

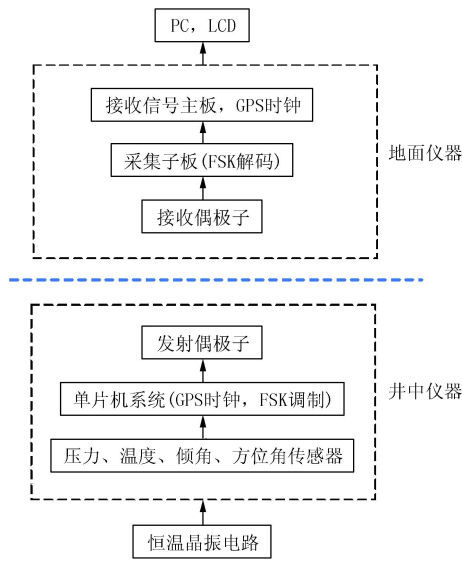


图 1 电磁随钻测量系统总体方案

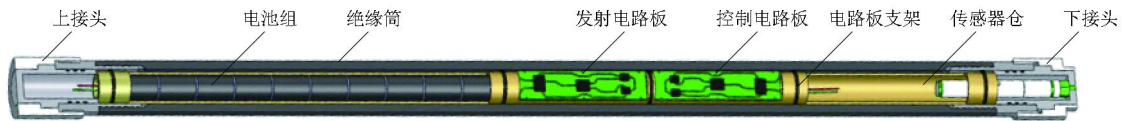


图 2 井下钻具内管结构图

由玻璃钢布通过浸胶工艺制成,传感器仓内安装相应传感器。

2.2 井下控制电路和发射电路

井下控制电路和发射电路原理如图 3 所示。

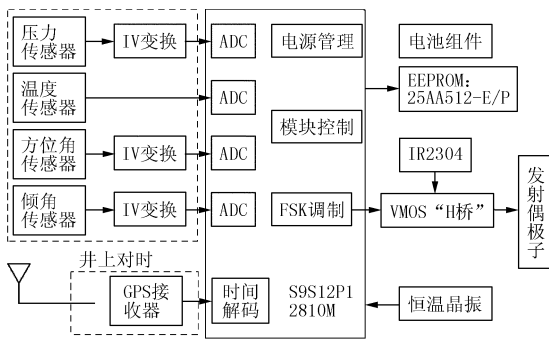


图 3 井下控制电路发射电路原理图

控制电路主要由单片机和传感器(压力传感器、温度传感器、加速度和磁通门传感器)等组成,压力传感器和温度传感器用于采集井下的压力和温度信息,加速度和磁通门传感器用于计算顶角、方位角和工具面角。单片机采集传感器信号后进行编码,数据编码方式采用 FSK 调制方式,发射频率为 10 Hz。通过单片机程序实现编码,然后驱动发射电路发射信号。

发射电路采用 4 个 MOS 管构成 H 桥,进行功率放大,考虑到井下的温度随深度增加而升高,而普通

仪器上安装的传感器将测得的井内环空压力、温度、井斜角、方位角等参数转变为模拟电信号,然后送到单片机系统,单片机自带 12 通道 ADC,采集信号后,经 FSK 调制、功率放大等处理后,由发射偶极子发射出去。电磁波经过地层传送到地表,通过插入地下的接收偶极子接收电磁波信号,再经过采集子板采集后送到主板,经过解码、滤波处理后在 PC 机上以图表形式显示和保存。

2 电磁随钻测量系统井下钻具

2.1 井下钻具内管

井下钻具内管结构如图 2 所示,主要包括上接头、下接头、电池组、电路板支架、控制电路板、发射电路板、绝缘筒及传感器仓。上接头和下接头由无磁钢加工制成,电路板支架由铜筒加工制成,绝缘筒

的 DC-DC 模块一般工作温度都不能达到很高,所以驱动电路采用专用 MOS 管驱动芯片。为提高效率,采用导通电阻小的 MOS 管桥。另外增加了电流和电压监测电路,发射电压经电阻分压后输入至 ADC 采样,以监测发射电压, H 桥中串联 0.1 Ω 的取样电阻对电流进行采样,监测发射电流。

2.3 井下钻具外管绝缘短节

电磁随钻测量系统井下工具要用绝缘短节作为天线发射数据,国外非金属材料强度较高,能满足绝缘,同时传递扭矩和拉、压力的要求。国内由于非金属材料强度仍达不到传递扭矩和拉、压力的要求。因此,绝缘短节成为国内电磁随钻测量系统井下钻具研制的一个难题。项目组通过结构设计,选用高强度的工程塑料 PEEK 材料,使该短节能够满足抗大扭矩、高钻压和拉力的要求。

电磁随钻测量系统井下钻具绝缘短节结构如图 4 所示。它包括上接头、下接头、上绝缘定位环、下绝缘定位环、环氧树脂胶、键、注胶口及玻璃钢布。上接头和下接头作为随钻测量钻具的外管采用无磁钢材料,上绝缘定位环、下绝缘定位环、键采用高强度工程塑料 PEEK 加工。从绝缘短节的结构可知,上下接头之间由上绝缘定位环、下绝缘定位环及环氧树脂胶隔开起到绝缘作用,同时环氧树脂胶将上下接头牢固粘结在一起,可起到一定的传递扭矩和

拉压力的作用,此外,6 个高强度 PEEK 材料加工的键起到传递扭矩和拉力、压力的作用,由于扭矩和拉力、压力由环氧树脂胶和 PEEK 键承担,因而绝缘短节不仅可以起到绝缘作用,其整体强度也十分高,能够充分承受钻进过程中的扭矩、拉力和压力。外面包裹的玻璃钢布起到保护 PEEK 键的作用。该外管绝缘短节具有如下特点:(1)结构简单,制作方便;(2)通过结构设计,弥补了非金属材料本身强度不够的缺点;(3)具有很高的抗扭和抗拉压能力,完全能够满足钻进要求。

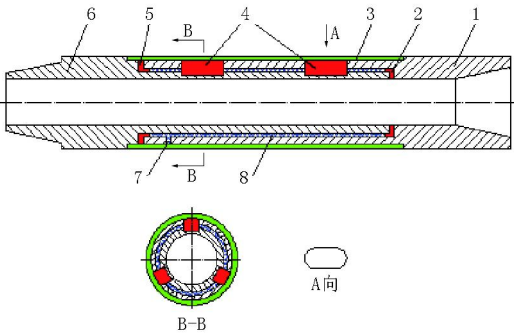


图 4 外管绝缘短节结构图

3 电磁随钻测量系统地面接收系统

井下传感器将采集到的模拟信号送到 ARM 系统,ARM 系统对采集的信号进行编码后,经 VMOS 桥式驱动后送到发射偶极子,由发射偶极子发射电磁波信号,地面接收系统接收信号,地面接收系统框图如图 5 所示。

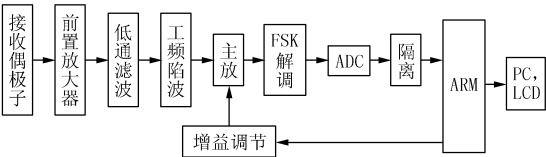


图 5 电磁随钻测量系统地面接收系统框图

在数据采集卡电路板上,接收偶极子采集到的模拟信号经 LT1028 组成测量交流放大器放大,低通滤波(在发射频率以下),50 Hz 陷波等,主放大器放大后,输入给单片机系统,通过 LM567 解调后输入给 ARM。ARM 系统连接到 PC 上位机,并可 LCD 显示传感器采得的信息。地表接收装置制成电路板及装机后的实物如图 6 所示。

4 地表信号传输试验

做地表信号传输试验时,采用铜棒电极模拟钻杆,发射端将 2 个电极插入地下,其中一个用导线

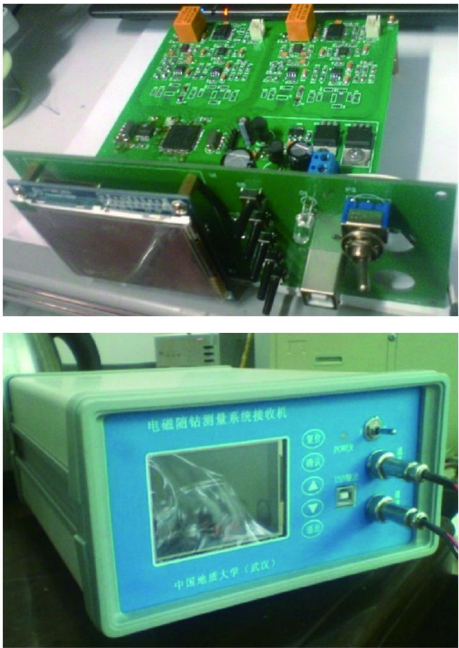


图 6 地面接收装置电路板及实物外观图

连接至接收端的电极。接收端同样有 2 个电极插入地下,其中一个用导线连接至发射端的电极。如图 7 所示。

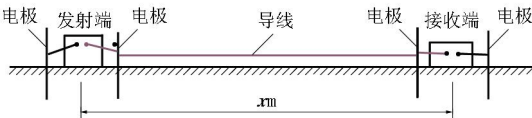


图 7 地表信号传输原理图

发射机和接收机都是采用 12 V 电池供电,发射电压峰值 24 V。做了多次不同距离的实验,发射距离从几米到 150 m 左右。接收到的信号随着距离的增加有所减小,但都在比较大的范围内,均能够正确解码。

距离为 150 m 左右时,接收到的信号约为 4.7 V,噪声主要为工频干扰,经过放大滤波后信号饱和。

5 孔内信号传输试验

试验地点为河南省灵宝市某金矿勘探孔,属河南省地矿局第四地质探矿队小秦岭深部探矿钻探指挥部,主要目标是金矿岩心取样。该金矿勘探孔设计孔深 860 m,要求终孔直径 ≥ 75 mm,采用 XY-44 型钻机, $\varnothing 50$ mm 钻杆,每根长 4.5 m,每立柱长 13.5 m。在钻探过程中,已经下入 3 层套管,截止到试验当天,钻孔深度已到 616 m,套管长约 439 m,套管直径 127 mm,地下水位离地面约 18.5 m。图 8 为该勘探孔的现场情况。



图 8 勘探孔的现场情况

首先组装好电磁波随钻测量系统的井下仪器,在地表检查试验仪器工作正常,电磁波信号的频率设定为 10 Hz,开始进行试验。在试验过程中,不接钻头,不开泵并且不转动(没有施加扭矩),逐根接入钻杆,将井下仪器下放至井中,同时出于保护井下仪器考虑,也未将仪器下放到孔底。

具体的试验过程是:依据孔深,采取间隔大约 100 m 的取点方案,选取孔内 4 个不同深度的位置进行信号传输试验。检测位置的布置如图 9 所示,试验结果及接收的信号情况如表 1 和图 10~12 所示。

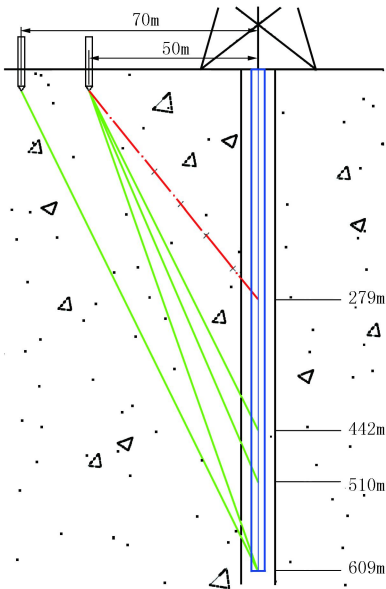


图 9 金矿勘探孔试验监测点布置图

表 1 金矿勘探孔试验结果

孔深 /m	极距 /m	接收到的信号		顶角 /(°)	方位角 /(°)	电池电 压/V
		强度/mV	波形			
279	50	无				
442	50	50	图 10	176.5	205.3	25.30
510	50	200	图 11	176.7	220.4	24.38
609	50	200	图 12	177.5	218.9	24.20
609	70	200	图 12	175.0	218.4	24.12

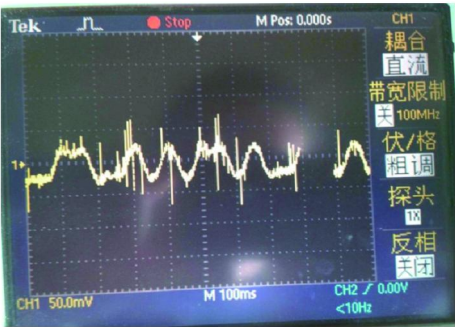


图 10 孔深 442 m 接收信号的波形图

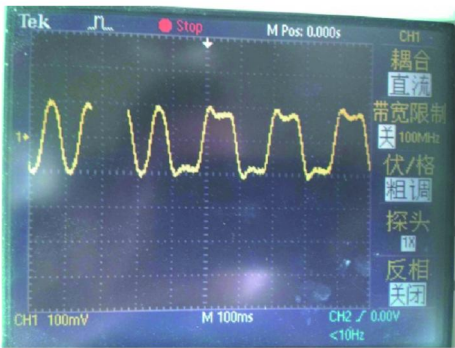
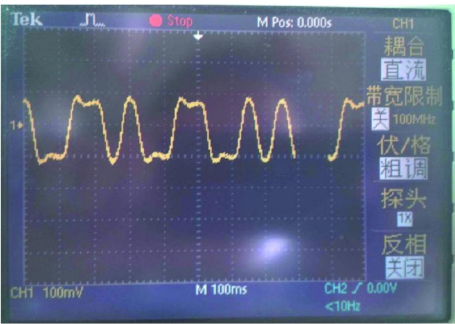
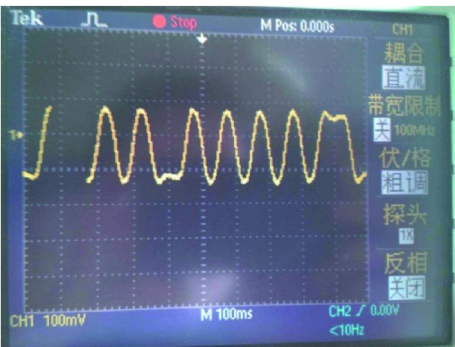


图 11 孔深 510 m 接收信号的波形图



(a) 极距50m



(b) 极距70m

图 12 孔深 609 m 处,不同极距情况下接收信号滤波后波形图

为了研究极距对接收信号的影响,试验时采用 2 种极距,分别设定极距为 50 和 70 m,在 609 m 的位置处分别检测接收信号,并进行强度对比。图 13 为 609 m 处信号解码处理后的显示界面。



图 13 孔深 609 m 处孔底参数显示界面

试验结果表明:地表接收信号强度好,在一定范围内信号强度随深度反而有增强的趋势,分析原因可能是随钻测量钻具刚升出井下套管,套管对电磁波信号有一定的屏蔽作用;孔深 609 m 处,静水压力约 6 MPa,系统仍然能够正常工作,说明外部绝缘套管的承压能力及密封性能良好;通过对不同极距的信号监测发现,该区域在极距 70 m 范围内的接收信号强度基本保持不变,说明对于这套电磁波随钻测量系统而言,在一定的极距范围内,接收信号的强度不受极距距离的影响。

6 结语

试验表明,该自主研发的随钻测量系统能够监测近钻头处钻孔状态及环空压力和温度等参数,经处理后实时传输至地表,实现随钻测量的功能。由于试验条件的限制,目前该系统的最大试验深度仅为 609 m,但信号强度高达 200 mV,下一步目标是进一步进行深孔试验研究。

参考文献:

- [1] 姚爱国,高辉,方小红. 定向钻进技术的发展与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):62-65.
- [2] 王磊,李林,盛利民,等. DREMWD 电磁波随钻测量系统及现场试验[J]. 石油钻采工艺,2013,35(2):20-23.
- [3] 林睿攀,周静,白莎. 一种随钻测量数据的井下无线短传关键部件研究[J]. 电子设计工程,2013,21(6):168-171.
- [4] 李晓,姚爱国,李运升. 新型电磁随钻测量系统信道传输特性研究[J]. 煤田地质与勘探,2010,38(2):76-78.
- [5] 王岚. 随钻测量信号中继器的设计与实现[J]. 煤田地质与勘探,2013,41(1):82-83.
- [6] 魏宝君,徐丹,王莎莎. 通讯槽对电磁波传播随钻测量信号的影响[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2011,35(1):56-60.
- [7] 彭烈新,苏义脑,盛利民,等. 基于电磁随钻测量系统的功率自适应分配方法研究[J]. 钻采工艺,2010,33(4):1-4.

科学家董树文表示我国深部探测具有后发优势

《中国矿业报》消息(2013-12-19) 我国地球深部探测专项专场新闻发布会近日在美国地球物理年会新闻中心举行。该专项首席科学家董树文研究员在回答美国记者的提问时表示:“中国的深部探测专项仍然在学习美国等先进国家的经验,而且进口美国的探测仪器,这是实情,但是,中国组织了多学科联合探测的模式,这与美国是不同的,具有集成优势和后发优势。”

美国地球物理学会是世界上最著名的地球科学学会之一,每年的秋季年会规模均达到 2 万人左右,成为世界上规模最大、层次最高的地学交流会。而在美国地球物理学会年会上举行中国科研项目的新闻发布会还是第一次。

发布会上,董树文介绍了深部探测专项的研究背景和主要进展,特别是科学发现和技术进步。据他介绍,地壳探测工程的培育性专项“深部探测技术与实验研究”(2008~2012)由国土资源部组织、中国地质科学院负责实施,共有来自中国不同部门的约 1500 多名科学家、工程师以及研究生参加了该专项的 9 个项目和 49 个课题的研究工作。

“中国深部探测数据能否共享,如何共享?”“深部探测第二阶段计划如何?何时启动?”面对美国记者的提问,董树文回答到:“中国深部探测专项是一个开放的项目,从一开始中国国土资源部就制定了管理办法,要求专项结束 2 年后数据公开。其实在过去 5 年的实施过程中,通过不同项目和不同部门之间的年度交流,国际合作的联合探测等数据已经不断地实现了共享。”“第二阶段的计划正在准备和论证之中,何时能否实施主要在于:一是取决对第一阶段目标、成果的总结和国家评价;二是取决于国家科技投入强度,科学家的愿望要和国家经济实力相协调。目前正在组织总结和验收,2014 年争取通过国家验收和评价。”

据了解,我国深部探测专项已连续第 5 年参加美国地球物理学会年会,今年还由该专项牵头主持了美国地球物理学会年会“岩石圈结构深部探测”主题的 2 个口头发言专场和 3 个展板专场,并在会展中心设立了展台,集中展示深部探测专项近 5 年来的成果,受到与会各国的热情关注。

欢迎赐稿 欢迎订刊 欢迎刊登广告!