

文章编号: 1001-1986(2010)02-0076-03

新型电磁随钻测量系统信道传输特性研究

李 晓, 姚爱国, 李运升

(中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 电磁波随钻测量不受钻井液性质影响, 因而优势得以实现, 但其发展瓶颈在于信号传输距离短。论述了电磁波通道式 MWD(measurement while drilling)传输装置信道计算的等效传输线法, 分析了天线参数、激励源频率等参数的变化对检测电压的影响规律, 并通过计算探讨了影响电磁波传输质量的因素。结果显示, 地面检测电压随金属环长度增大而增大; 温度是对电磁信号传输装置影响显著的一个参数, 它能彻底改变电子元件的工作性能, 使其丧失功能。因此, 工程技术人员可利用等效传输线理论, 合理地选择所用激励装置尺寸参数, 从而达到优化天线尺寸的目的。

关键词: 随钻测量; 电磁波; 信道计算; 等效传输线法

中图分类号: P631 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.02.019

Transmission characteristics of new electromagnetic-measurement while drilling system

LI Xiao, YAO Aiguo, LI Yunsheng

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: EM-MWD (Electromagnetic-measurement while drilling) develops rapidly because it can not be affected by drilling fluid. The main reason limiting its development and application now is that the distance the electromagnetic wave can reach is not deep enough. This paper mainly discusses the method of calculating the transmission channel of electromagnetic MWD system—effective transmission line method. Several factors possibly affecting the quality of electromagnetic wave transmission were discussed. The paper can mainly be divided into two parts: theoretical part and experimental part. The impacts of antenna parameters, excitation frequency on the voltage were discussed in the theoretical part. And the influence of the length of the metal ring on the voltage was proved in the experimental part. Through the analysis of various factors, engineering and technical personnel can use the effective transmission line method to choose rational incentives used by the device size parameters, which are optimized for the purpose of the antenna size. Based on the data collected, a number of deficiencies in the process of theoretical analysis were given.

Key words: MWD; electromagnetic wave; calculation of information channel; effective transmission line method

地下资源的勘探与开发, 日益促进钻井工程向大深度发展, 为保障钻井安全和提高工作效率以及某些特殊应用的要求, 需要将井下工程参数和地质参数实时地进行测量并传送至地面。电磁波随钻测量因其不受钻井液性质影响的优势得以实现, 其关键技术之一就是井底信息传输装置的研发。在电磁随钻测量中, 信号随深度的增加逐渐变弱。为了增大测量深度, 必须考虑激励方式的效率。结合钻井的实际情况, 比较垂直电激励与垂直磁激励的效率, 垂直电激励的效率远高于垂直磁激励。因此在电磁随钻测量中应选择垂直电激励的方式, 即最合适的井下激励方式为激励沿钻杆引导的轴向电流^[1]。

1 钻杆激励及其等效传输模型

采用穿孔外接金属环套激励法激励轴向电流(图 1)。该装置将钻杆内激励器一端接至钻杆内壁, 另一端通过外壁上的绝缘小孔 K, 与钻杆外包裹的金属环 A 相接。

由于边界条件复杂, 该模型的建立与求解难度较大。等效传输线更适合研究电磁随钻的信道特性。等效传输线法, 一般认为地层为均匀介质, 也有地层为非均匀的传输线理论, 但其公式也是在均匀情况下得到的。此种地下超低频近场信道具有比较显著的“电路”特点, 因而采用近似的等效传输线法与电极法, 可能较容易地获得简单而实用的结果。模型参数见表 1。

收稿日期: 2009-05-05

作者简介: 李 晓(1986—), 女, 山西临猗人, 硕士研究生, 从事定向钻井与随钻测量研究。

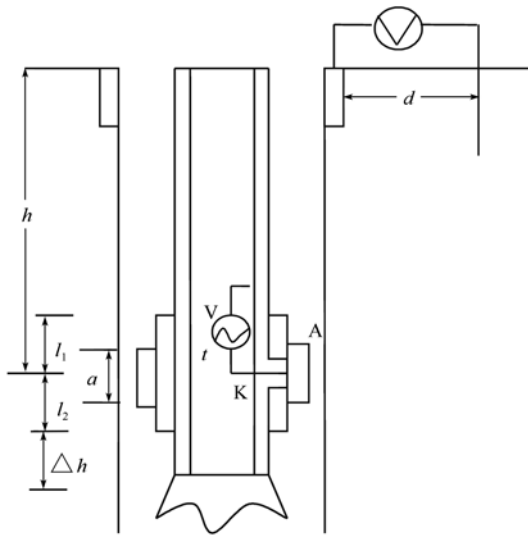


图 1 穿孔外接金属环套激励装置

Fig. 1 The mental ring model used to excite current

表 1 计算所用的常参数

Table 1 The used constant parameter

信号电压/V	钻杆外半径 b_1/m	钻杆壁厚 t/m	地层电阻率 $/\Omega \cdot m$	长度 l_1/m
15	0.1	0.01	25	1.5
导电段中心深度 h/m	频率 f/Hz	真空中介电常数	真空中导磁率	
600	10	忽略	忽略	

在距离井口 d 处的位置上, 设一埋地电极, 当这个距离远远小于发射源到地面的深度 h 时, 即满足条件 $d \ll h$ 时, 井口套管与电极间的电位差为^[2]:

$$V_r(h, d) \approx 2I_1 Z_{01}(h) \frac{\ln(d/b_1)}{\ln(\pi h/4b_1)} \exp\left[-\int_{l_1}^h \gamma_1(z) dz\right], \quad (1)$$

检测电压分贝值为:

$$V_{rec} = 20 \log[V_r(h, d)/V_T], \quad (2)$$

式中 $V_r(h, d)$ 为实际电压值; V_{rec} 为地面显示仪上观测电压值; I_1 为上部钻杆的输入电流; $\gamma_1(z)$ 为传播因子传播系数; $Z_{01}(z)$ 为特性阻抗; b_1 为钻杆外半径; h 为地面至激励点的深度; l_1 为钻杆绝缘段上半部分长度; a 为金属环套长度; V_T 为激励电压。

2 信道传输的影响因素分析

上述分析了穿孔外接金属环套等效传输线的理论方法, 并给出了具体的计算公式。下面着重分析影响地面检测电压的几种因素, 以便在工程中选用合适的天线尺寸参数。

2.1 钻杆天线尺寸变化对地面检测电压的影响

在钻井中没有套管和钢缆的情况下, 根据上述

理论公式, 使用 matlab 编写程序, 计算出不同参数的发射装置在不同深度时的传输效果。

2.1.1 地面检测电压与金属环套 a 长度的关系

由图 2 可见, a 的影响主要是使上部钻杆的输入电流发生变化, 导电段长度对信号影响较大, 在所计算范围内, 随长度增加检测电压信号增强。

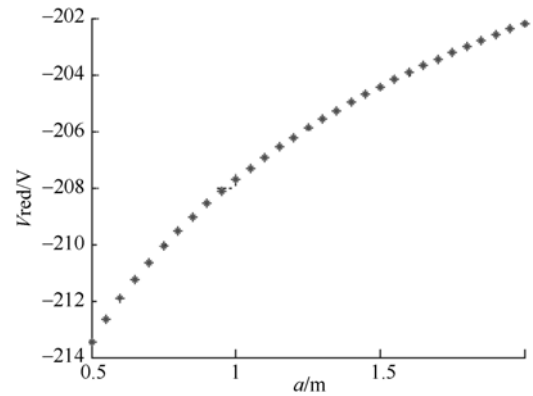


图 2 地面检测电压与金属环套长度关系图

Fig. 2 The calculated voltage versus the depth of mental ring

2.1.2 地面检测电压与钻杆上部绝缘段长度的关系

由图 3 可见, 随绝缘段长度增大, 检测电压先减小再增大, 且减小的速度比增大的速度要快得多, 但绝缘段长度对检测电压影响幅度整体不大。在计算数据范围内, $l_1 \approx 0.5$ 时, 检测电压达最大值。

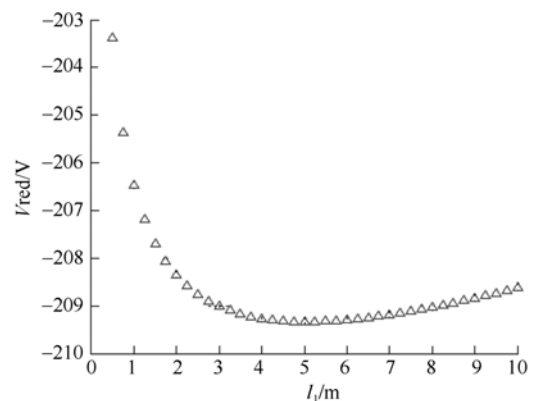


图 3 地面检测电压与钻杆上部绝缘段长度关系图

Fig. 3 The calculated voltage versus half the length of insulation

2.2 地面检测电压与激励信号频率的关系

地面检测电压与激励信号频率的关系见图 4。

为了能简单直观分析钻柱中信号电流的衰减, 这里引用由 DeGauque 和 Grundzinski 在 1987 年, Wait 和 Hill 在 1979 年提出的“埋入地层理想导体的长电极”上电流分布近似式(3), 用式(3)计算地层中钻柱上电信号电流的分布:

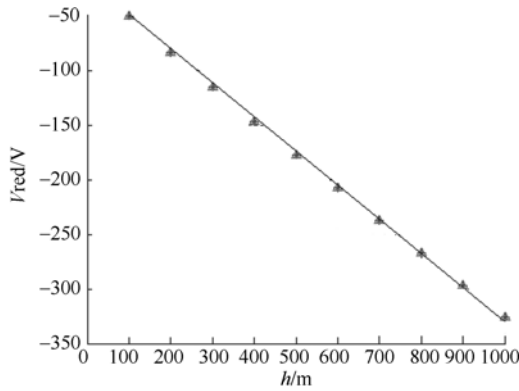


图 4 地面检测电压与激励信号频率关系图

Fig. 4 The calculated voltage versus the frequency (两直线并未完全重合, 由于数据差别不大, 故在图上有覆盖趋势; 上三角表示频率为 20Hz 所得曲线, 星号表示频率为 10Hz 所得曲线)

$$I_{(z)} = I_0 e^{-z/\delta}, \quad (3)$$

其中 $I_{(z)}$ 为信号电流在 z 点的强度, A; I_0 为源点处信号电流的最大幅度, A; δ 为电流在地层中的趋肤系数, $\delta=1/(\pi f \mu / \rho)^{1/2}$; f 为信号电流频率, Hz; μ 为磁导率, H/m; ρ 地层电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

由式(3)看出, 在 I_0 , 地层电阻率 ρ 不变条件下, 信号电流 $I_{(z)}$ 在 z 相同下随信号频率增大而减小, 即信号频率越高, 向地面传输的信号衰减就越快。可见, 要想提高遥测深度就必须降低信号频率, 但这会降低数据的传输速率使信息滞后, 影响随钻的实时性。

计算数据也表明, 在钻杆引导情况下, 电阻与电抗比较接近, 电压与激励源的工作频率关系较大。当频率升高时, 电压随源深度的衰减变快。

3 实验

实验目的: 比较 2 组尺寸参数不同的发射天线 ($a_2 \approx 2a_1$) 对接受信号的影响, 验证理论推导的正确与否。

实验原理: 等效传输线法, 在连接线路上使仪器在浅孔发射信号, 信号经过土壤传播, 发射与接收回路在钻杆管壁上共地; 在约 100 m 的山上接收, 信号可以很好接收。

用示波器记录 2 组波形分别如图 5、图 6 所示。

第一组天线装置所测电压幅值约 48.2 V, 第二组装置的电压幅值约 120.6 V, 说明金属环长度增大, 所测电压增大, 即信号强度增强, 与前面分析结果变化趋势一致。由于本实验只测 2 组装置且地层电阻率没有测量, 无法带入公式计算比较。但可以分析 2 者的比值即 $V_1:V_2$ 。经分析, 当 $a_2 \approx 2a_1$ 时, 理论计算电压比值 $V_1:V_2 > 1:2$, 而实测比值 $48.2:120.6 < 1:2$, 不符合理论结果。这可能是: a. 理论推导中, 模型的假设对计算公式的推导及计算有限制, 且没有分析公式的精确度; b. 在测 2 组装置

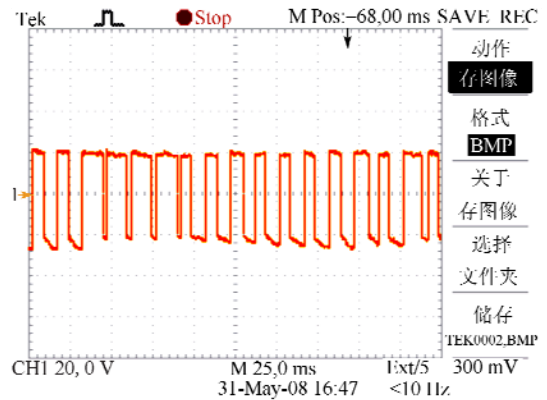


图 5 第一组装置记录波形

Fig. 5 The first voltage received by oscilloscope

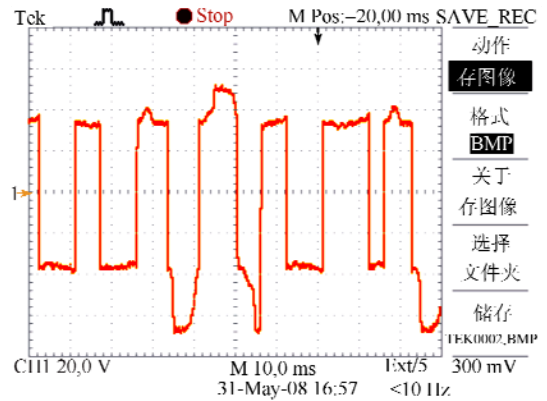


图 6 第二组装置记录波形

Fig. 6 The second voltage received by oscilloscope

电压时, 周围环境的影响因素不同; c. 公式计算中假定条件 $d \ll h$, 而在实验中未能满足。

4 结论

a. 地面检测电压随金属环长度增大而增大, 在装置上应尽量使绝缘段长度与金属环长度相等, 而且低电阻率地层是限制信号最大可测深度的重要因素。

b. 温度是对电磁信号传输装置影响显著的一个参数, 它能彻底改变电子元件的工作性能, 使其丧失功能。但由于耐高温的军工级电子产品价格昂贵, 在试验电路原理时未采用, 在今后进一步的工作中, 应考虑进来。

c. 应在实地测量以验证理论的正确性、准确度、影响因素的力度大小。可以考虑对理论分析中的假设模型进行修改, 例如考虑地层的不均匀性, 在建模时应建立分层模型等。

参考文献

[1] 熊皓, 胡斌杰. 随钻测量电磁传输信道研究[J]. 地球物理学报, 1997, 40(3): 3-4

[2] 熊皓, 胡斌杰. 随钻测量电磁信道分析的等效传输线法[J]. 电波科学学报, 1995, 10(3): 8-14.