

文章编号:1007-2780(2017)10-0809-06

串口触摸屏在电法测井数值模拟中的应用

龙柄全*, 王军民

(长江大学 地球物理与石油资源学院, 湖北 武汉 430100)

摘要:在以往的诸多电法测井数值模拟研究过程中,大多数研究均将重心放在数值模拟软件的选取以及算法的精进等部分,使得模拟的结果很难用统一的标准进行评判,并且在实际的测井过程中,电阻率值是采用真实的采集仪器获取的。为了减少软件和算法的影响,研究过程不脱离实物,本文将阐述如何将串口触摸屏等硬件与既定的 ANSYS 软件相结合,利用串口显示屏可自行编程以及 ANSYS 软件自带有限元算法特性,构建了一套虚拟的三侧向测井仪模型。实验结果表明:(1)在测量过程随着地层厚度的增加,视电阻率值不断上升;当目的层厚度高于 2.00 m 视电阻率值就近视于真实的地层电阻率值。(2)随着井径长度从 0.2 m 逐渐增大,视电阻率也随之下降。以上两项结果量化了地层厚度与井径对电法测井的影响,同时也证明了该套模型的可行性。

关键词:电法测井;数值模拟;串口触摸屏;ANSYS

中图分类号:P631.811;TN873.93 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173210.0809

Application of serial port touch panel in numerical simulation of electrical logging

LONG Bing-quan*, WANG Jun-min

(School of Geophysics and Petroleum Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: In the past, many studies have focused too much on the selection of numerical simulation softwares and the refinement of the algorithms, which leads to the consequence that the simulation results are difficult to be judged with a uniform standard. And in the practice of the logging process, the resistivity value is obtained by using real acquisition instruments. To reduce the impact of software and algorithms and make the research process not divorce from the physical, this article will elaborate how to combine some hardwares just like serial port touch screen with ANSYS software, how to use the characteristics of serial port touch screen which can be programmed by itself and ANSYS own finite element algorithm to establish virtual three-lateral logging tool model. Experimental results indicate that: (1) With the increasing of formation thickness, the apparent resistivity value increases, and, while the thickness of the target layer is higher than 2.00 m, the apparent resistivity value is getting close to the true formation resistivity value gradually. (2) With the increasing of well diameter starting with 0.2 m, the apparent resistivity value decreases. Two results above quantify the influence

收稿日期:2017-03-21;修订日期:2017-06-29.

基金项目:国家自然科学基金(No. 41674107)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No. 41674107)

* 通信联系人, E-mail:779660843@qq.com

of formation thickness and well diameter on the electrical logging and prove the feasibility of this model meanwhile.

Key words: electrical logging; numerical simulation; serial touch screen; ANSYS

1 引言

目前有限元分析方法在电法测井仪、石油井架等石油仪器的数值模拟与实验性设计中得到了广泛的运用。ANSYS 有限元分析软件电磁学模块是以麦克斯韦方程组作为电磁场分析的理论基础,能通过适当的方式使用于电法测井中^[1-2]。ANSYS 软件在电法测井中的运用一般需要以下几个过程:首先需要使用 APDL 语言描述电场分布以及建立模拟的测井过程中各种影响因素的形状尺寸。然后在进入其前处理器时,进行如下几步:(1)设置围岩、泥浆、储层等模型的视电阻率值并且划分它们的二维网格;(2)耦合各个电极模型的自由度;(3)施加它们在不同分场下的电压自由度约束。最后在进入后处理器时,利用公式解出不同位置的视电阻率值^[3-6]。然而绝大多数的使用方案只是建立在 PC 机上的软件系统中,很少有实验性的方案结合了具体的硬件,并且大多数软件只是为特定任务或用户定制的,因此在使用过程中很难去添加个性化因素以达到研究者的主观目的。

本文叙述的方案不仅能计算出视电阻率值,而且还将视电阻率值通过蓝牙模块从工控机实时传送给下位机 Arduino,并在 Arduino 外接的 USARTHMI 智能串口触摸屏模块上显示对应的响应曲线^[7-9]。这套方案实现了一套虚拟的三侧向测井仪的构建、使用及数据采集过程,可对现实中仪器的优化设计和测井解释提供参考。

2 工控机模块

2.1 三侧向测井

三侧向测井基于恒流式工作方式,具有电路简单、当地层电阻率变化范围较小时测量精确度高等优点,因此十分适合作为电法测井的数值模拟模型^[10-11]。根据图 1 描绘的三侧向测井仪模拟结构图分析:在三侧向测井中,主电极流出的主电流 I_0 与屏蔽电极流出的屏蔽电流 I_s 同极性。主

电极 A_0 较短,可以提高对薄层的分辨能力;而电极 A_1 、 A_2 相对较长,能增强屏蔽作用,减小了井眼和围岩影响。将 A_1 、 A_2 用线进行短接,电极间用绝缘材料隔开。在测井时,测井仪自动控制 I_s 使每个电极之间的电位差为零以及沿纵向的电位梯度为零,这样就能让主电流沿垂直于井轴方向流入地层,在井轴内部就没有分布影响测量的电场。

测井中,由于主电流 I_0 保持恒定,根据欧姆定律可以计算出地层视电阻率 R_a ,其公式为:

$$R_a = K \frac{U}{I_0}, \quad (1)$$

式中: I_0 为主电极电流强度,单位 A; U 为主电极电位,单位 V; K 为电极系数,用实验公式有限元方法求得,单位 m。

若在屏蔽电极以外加上第二屏蔽电极 A_1' 、 A_2' ,并将他们分别与相对应的第一屏蔽电极 A_1 、 A_2 短接,屏蔽电极被加长了,屏蔽效果也随之增强,就可以进行深三侧向测井;反之,用 A_1' 、 A_2' 作 A_0 、 A_1 、 A_2 的回流电极,就可以降低屏蔽作用,进行浅三侧向测井。

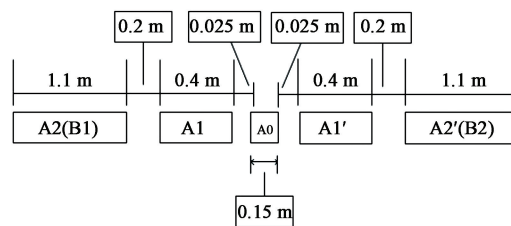


图 1 三侧向测井电极系结构图

Fig.1 Framework of the three-electrode system of lateral logging

2.2 建立求解模型

在三侧向测井中 K 值可由视电阻率 R_a 等于地层电阻率 R 求得:

$$K = R \frac{I_0}{U}. \quad (2)$$

由式(2)可知电位值 U 决定了求取的地层视电阻率 R_a 的值,而要求取电位值 U 必先求取整个地层电场的电位分布函数 $U = U(x, y, z)$ 。

由于采用的是恒流式电流源,因此要先确定的是电位分布函数 $U=U(x,y,z)$ 存在于一个由恒定电流产生的电场中。对于求解域内的任一点,电位函数 $U=U(x,y,z)$ 均应满足拉普拉斯算子 Δf 值为 0。

而且,在区域交界面上,需符合边界条件:边界值等同于求解域值。

将主电极电流作为参考电流:

$$I_0 = 1 \quad (3)$$

根据各个电极之间的电位关系以及基尔霍夫电流定律,有如下关系式:

$$\begin{cases} V_0 = V_1 = V_2 \\ I_0 + I_1 + I_2 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

由于屏蔽电流 I_1 和 I_2 未知,为了求解电位分布函数 $U=U(x,y,z)$,需要将整个测井仪产生的电场化为 3 个电极对应的 3 个分场然后进行电位函数的迭加。对每个电极相应的电位函数 $U=U(x,y,z)$,采用统一的标记法,即电位 U 第一个下标表示电流发射电极的编号,第二个下标表示在该电极作用下电位由哪一个电极而得:

第一个分场:仅有 A_0 发射恒定电流 $I_0 = 1$,而屏蔽电极不向地层发射电流。

第二个分场:仅有 A_1 发射恒定电流 $I_1 = 1$,而 A_0 和 A_2 (A_2') 不发射电流。

第三个分场:仅有 A_2 发射恒定电流 $I_2 = 1$,而 A_0 和 A_1 (A_1') 不发射电流。

对这 3 个分场的电位值进行线性组合,得:

$$U(x,y,z) = U_0(x,y,z) + C_1 U_1(x,y,z) + C_2 U_2(x,y,z), \quad (5)$$

选择常数 α 和 β ,并使式(3)、(4)成立,即:

$$\begin{cases} 1 + \alpha + \beta = 0 \\ U_{00} + \alpha U_{10} + \beta U_{20} = U_{01} + \alpha U_{11} + \beta U_{21} \\ U_{00} + \alpha U_{10} + \beta U_{20} = U_{02} + \alpha U_{12} + \beta U_{22} \end{cases} \quad (6)$$

对此方程组求解,由于已知主电流为 $I_0 = 1$,可求出第一级屏蔽电流的电流为 $I_1 = \alpha$;第二级屏蔽电流的电流为 $I_2 = \beta$ 。将这 3 个值带入式(3)、(4)验证是成立的,所以式(5)就是三侧向测井所要求取的电位分布函数,将 3 个电流值迭加后代入式(2)就可得视电阻率 R_a 的值。

侧向测井中,深、浅三侧向的测井原理是一样的,不同的是电极系结构有所差别。相较于深三侧向,浅三侧向测井将 A_1' 、 A_2' 变为 2 个极性相反的回路电极 B_1 和 B_2 ,对现实中的仪器的改变

表现为将深三侧向测井仪中无穷远处的回路电极“拉回”到浅三侧向测井仪两段,只影响了模型的建立但并不影响计算的过程。

2.3 工控机软件

工控机软件以 ANSYS 为主,并配合 Arduino IDE 编译环境,实现了整个工控机运行环境的搭建。对于 ANSYS,首先利用 APDL 编程语言将围岩电阻率设为固定值 $1 \Omega \cdot m$,井内泥浆电阻率设为固定值 $1 \Omega \cdot m$ 以及储层的电阻率设为固定值 $40 \Omega \cdot m$ 。以浅三侧向测井为例,图 2、图 3 分别展示了 ANSYS 建立的地层模型与有限元模型,对于其余的数值模拟过程,在参考文献^[12-13]中有较为详细地介绍,在此不做叙述。由于需要探究井眼、地层厚度的影响,仅仅只用在模型建立时添加对应的地层属性:

对地层厚度:将储层的中心位置与仪器的中心位置固定,并且使这两个中心位置的深度值相同,在保证储层上边缘深度值与储层下边缘深度值互为相反数的情况下,以步进为 $0.05 m$,将上边缘深度值从 $0.05 m$ 到 $1 m$ 进行改变,此时储层下边缘对应的深度值也会对应发生变化,从而测得地层厚度在 $0.1 m \sim 2 m$ 之间变化下的视电阻率值。

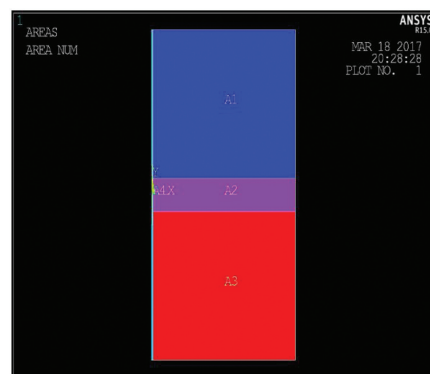


图 2 地层模型

Fig.2 Strata model

对井径:将储层的中心位置与仪器的中心位置固定并且使这两个中心位置的深度值相同,在保证井眼左边缘横向深度值与井眼右边缘横向深度值互为相反数的情况下,以步进为 $0.01 m$,将右边缘横向深度值从 $0.1 m$ 到 $0.3 m$ 进行改变,此时井眼左边缘对应的横向深度值也会对应发生变化,从而测得井径在 $0.2 m \sim 0.6 m$ 之间变化下

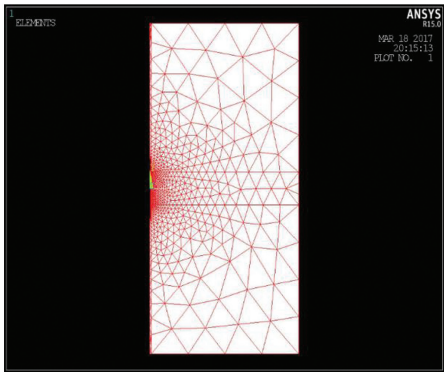


图 3 有限元网格模型

Fig.3 The finite element mesh model

的视电阻率值。

对于得到的数值模拟结果,通过使用 * copen命令行下的累加符 append 依次输出到指定的文本文档下。为了满足串口屏对数据显示的要求,需要将上述文本文档下的数据进行倍数放大、三次函数插值等数学方法的处理,并将处理后的数据保存为 FAT 格式。

由于下位机中的 Arduino 电路板需完成某些特定功能,需事先在 Arduino IDE 中,使用 C 语言编写程序代码并烧录到 Arduino 电路板中。

3 下位机模块

3.1 通讯模块

通讯模块使用的是 HC-06 蓝牙模块,其模块基于串口通信的原理,在利用 AT 指令设置支持主从模式,在设置好波特率后便可在不同设备之间进行无线通讯。具有低功耗,信号强,性能稳定,通讯距离远,低成本,使用灵活,尺寸超小的优点。

正常通信时,将主模块借助 FT232RL 转接线连接至 PC 机,从模块用一般的杜邦线连接至 Arduino 电路板,这样就实现了工控机与下位机的联动通讯。图 4、图 5 展示了工控机与下位机的联动通讯效果。

3.2 数据暂存模块

由于串口触摸屏不能自主提取 PC 机的数据,因此就需要使用一个带微控制单元(例如单片机,Arduino 等)的电路,先对数据进行提取,然后再传输到触摸屏中。

在此工程中,将 Arduino 电路板作为数据暂

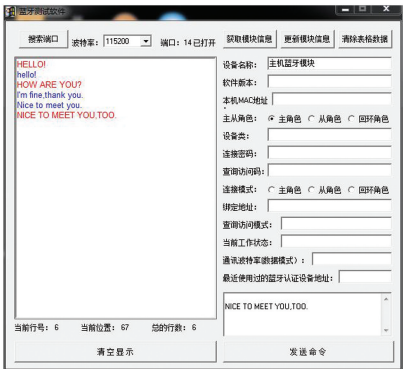


图 4 主机显示界面

Fig.4 Display interface of the Host



图 5 从机显示界面

Fig.5 Display interface of the Subordinate

存模块。图 6 是 Arduino 电路板与其他硬件的连接展示。

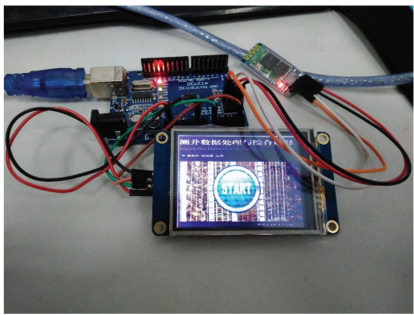


图 6 Arduino 电路板与其他硬件的实物连接图

Fig.6 Physical connection diagram between Arduino circuit board and other hardware

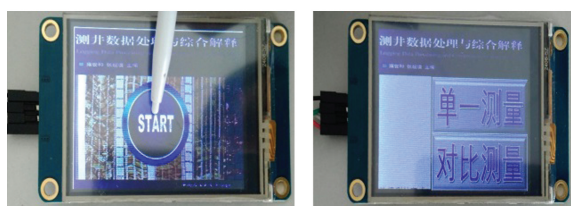
3.3 USARTHMI 智能串口触摸屏

对于传统的液晶显示屏,只能实现对文本以及数据内容的显示。然而在电法测井的数值模拟中,重点观察的是测井的相应曲线,因此需要一种

可编程的屏幕以满足对图形与曲线的显示需求。

USART HMI 智能串口触摸屏是一种特殊的串口屏 TFT 液晶显示模块,相较于一般的触摸屏具有程序编写简单,易控制,触控响应速度快等优点。

在此工程中,需要事先布置 USART HMI 智能串口触摸屏按钮控件与波形图控件等组态控件,并编写页面与控件的程序指令。图 7 是智能串口触摸屏定义好的初始界面与过程界面。



(a) 初始界面示意图

(b) 过程界面示意图

(a) Initial interface

(b) Process interface

图 7 智能串口触摸屏的操作过程

Fig.7 Process of operation of intelligent serial touch screen

4 测量结果分析

4.1 受地层厚度变化所影响的结果

受地层厚度变化所影响的结果如图 8 所示。从图中可看出,随着地层厚度的增加,视电阻率值均不断上升。目的层厚度高于 2.00m 时,深三侧向测井视电阻率值就近视于真实的地层电阻率



图 8 受地层厚度影响的视电阻率响应曲线

Fig.8 Apparent resistivity curve affected by formation thickness

值;而浅三侧向测井的视电阻率值虽然与地层电阻率值有一定偏差,但仍然在不断趋近真实的地层电阻率值。

4.2 受井径变化所影响的结果

受井径变化所影响的结果如图 9 所示。由图 9 可知,在三侧向测井中随着井径从 0.2m 逐渐增大,视电阻率也随之下降,井径变得越大,视电阻率比真实电阻率越小;深三侧向测井视电阻率值下降速率低于浅三侧向测井。

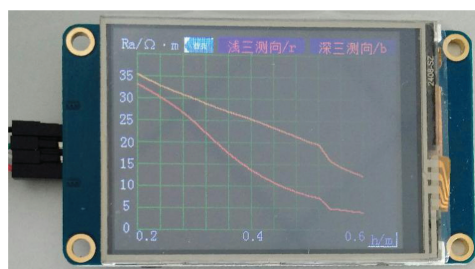


图 9 受井眼影响的视电阻率响应曲线

Fig.9 Apparent resistivity curve affected by bore-hole

5 结 论

本文简单地介绍了以三侧向测井仪的电极系结构与测量方法,结合了三侧向测井仪电极系结构简单的优点建立了可行的数学模型,并利用 ANSYS 有限元软件完成了实对建模与求解,然后利用蓝牙模块,将上位机得到的数据过渡到 Arduino 电路板中,并通过 Arduino 电路板再将数据与控制指令传输到 USARTHMI 智能串口触摸屏中,让 USARTHMI 智能串口触摸屏对响应曲线加以显示。实验结果证明,在测量过程随着地层厚度的增加,视电阻率值均不断上升,目的层厚度高于 2.00 m 视电阻率值就近视于真实的地层电阻率值;随着井径从 0.2 m 逐渐增大,视电阻率也随之下降,基本满足了电法测井数值模拟对视电阻率值的要求,充分证明了这套虚拟的三侧向测井仪构建具有可行性与创新性。

参 考 文 献:

- [1] 张庚骥.电测井算法[M].北京:石油工业出版社,2009.
ZHANG G J.Electrical Logging Algorithm [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009. (in Chinese)

- [2] ANOMOHANRAN O, OFOMOLA M O, OKOCHA F O. Investigation of groundwater in parts of Ndokwa District in Nigeria using geophysical logging and electrical resistivity methods: Implications for groundwater exploration [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2017, 129: 108-116.
- [3] 孙明礼, 胡仁喜, 崔海蓉, 等. ANSYS 10.0 电磁学有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
SUN M L, HU R X, CUI H R, *et al.* *Tutorial Examples of Finite Element Analysis of ANSYS 10.0 Electromagnetics* [M]. Beijing: China Machine Press, 2007. (in Chinese)
- [4] 聂在平, 陈思渊. 复杂介质环境中双侧向测井响应的高效数值分析[J]. 电子学报, 1994, 22(6): 30-38.
NIE Z P, CHEN S Y. The numerical analysis for the response of dual lateral logging tool in a complex environment [J]. *Acta Electronica Sinica*, 1994, 22(6): 30-38. (in Chinese)
- [5] 王欣, 陈浩, 王秀明, 等. 双侧向测井响应的有限元法模拟[J]. 中国传媒大学学报自然科学版, 2012, 19(3): 17-24, 16.
WANG X, CHEN H, WANG X M, *et al.* Simulation of dual laterolog response with the finite element method [J]. *Journal of Communication University of China (Science and Technology)*, 2012, 19(3): 17-24, 16. (in Chinese)
- [6] 博弈创作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
BO Y C Z S. *APDL Parametric Finite Element Analysis Technique and Its Application Example* [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2004. (in Chinese)
- [7] 郑昊. 基于 Arduino/Android 的蓝牙通信系统设计与实现[D]. 武汉: 湖北大学, 2012.
ZHENG H. The design and achieve of the Bluetooth communication system based on the Arduino & Android [D]. Wuhan: Hubei University, 2012. (in Chinese)
- [8] 林志成, 邵庆益, 陈阿青. 用于 TFT-LCD 驱动电路的输出缓冲放大器[J]. 液晶与显示, 2009, 24(3): 409-412.
LIN Z C, SHAO Q Y, CHEN A Q. Low-power buffer amplifier for TFT-LCD driver [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(3): 409-412. (in Chinese)
- [9] 牛立刚, 张月莹, 胡志勇, 等. 基于 Arduino 的 USART HMI 智能串口触摸屏的应用[J]. 机电信息, 2016(15): 122-123.
NIU L G, ZHANG Y Y, HU Z Y, *et al.* Application of USART HMI intelligent serial port touch screen based on Arduino [J]. *Mechanical and Electrical Information*, 2016(15): 122-123. (in Chinese)
- [10] 冯启宁, 鞠晓东, 柯式镇, 等. 测井仪器原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
FENG Q N, JU X D, KE S Z, *et al.* *Principle of Well Logging Instrument* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [11] HANZ X, LI Y N, WU J. The high resolution three lateral logging response research based on MATLA [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 130-134: 1556-1559.
- [12] 张健阁, 谌海云. ANSYS 在电法测井仪器分析中的应用[J]. 石油仪器, 2011, 25(5): 62-64, 68.
ZHANG J G, CHEN H Y. Application of ANSYS in electrical logging instrument analysis [J]. *Petroleum Instruments*, 2011, 25(5): 62-64, 68. (in Chinese)
- [13] 罗水亮, 陶果. 用大型有限元软件 ANSYS 处理电法测井的电磁场问题[J]. 测井技术, 2004, 28(6): 499-502.
LUO S L, TAO G. Using the large finite element software ANSYS to tackle electromagnetic problem in electrical logging [J]. *Well Logging Technology*, 2004, 28(6): 499-502. (in Chinese)

作者简介: 龙柄全(1992—), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 2015 年于长江大学获得学士学位, 主要从事地球物理仪器方面的研究。E-mail: 779660843@qq.com