

# 强场源瞬变电磁仪及在某铜矿的试验性应用

柳建新<sup>1</sup>, 刘春明<sup>1</sup>, 童艳光<sup>2</sup>

(1. 中南大学 信息物理工程学院 湖南 长沙 410083 ; 2. 吉林大学 电子科学与工程学院 吉林 长春 120026 )

摘 要 : 为加大瞬变电磁仪的勘探深度 , 通过吸收电子工业中成熟的技术成功研发出了强场源瞬变电磁仪。该仪器具有发送电流大、关断时间短、勘探深度大等优点。通过在某铜矿区的试验性应用 , 证明已具备开展野外实际工作的能力 , 达到了预期的效果。

关键词 瞬变电磁法 ; 勘探深度 ; 时间常数 ; 强场源

中图分类号 : P631.3 文献标识码 : A 文章编号 : 1000 - 8918( 2004 )02 - 0130 - 03

瞬变电磁法 ( TEM ) 是利用电磁法原理勘探的一种先进技术。此方法主要用于寻找低阻目标体 , 研究浅层至中深层的地电结构。传统的电磁法发射机采用工频调压、可控硅桥式输出电路。采用这种方式 , 一方面发射机的整体体积与重量大 , 很难适合南方山区复杂地质情况下工作 ; 另一方面由于可控硅关断特性决定 , 关断时间很难小于 50  $\mu$ s ; 再一方面由于电子器件和设计原因 , 单个发射机的发送电流很难达到 50 A。

针对目前瞬变电磁仪存在的问题 , 课题组通过引入电子工业中成熟的技术 , 成功研发出强场源瞬变电磁仪。在纯电阻负载时 , 其关断时间小于 1.2  $\mu$ s , 单台发射机最大可供连续电流 50 A , 脉冲电流最大可达 70 A , 而且此类发射机采用同步电路 , 使 2 台发射机同步发射 , 把发送电流进行同步叠加 , 从而使发送的连续电流最大可超过 100 A , 进而达到提高探测精度、加大探测深度的目的。

## 1 基本原理

瞬变电磁法中 , 估计探测深度通常用  $H = 0.55 (M\rho_1/\eta)^{1/5}$  (  $M$  为发送磁矩  $\rho_1$  为覆盖层电阻率 ,  $\eta$  为最小可分辨电压 ) , 可见 , 为了提高探测深度 , 可以采用提高  $M$  或降低  $\eta$  值的方法。由于  $M = I \cdot S_r$  (  $S_r$  为发送回线的面积 ) , 所以在回线边长固定的前提下 , 提高发送电流可加大探测深度。

按照电磁理论 , 对于地质三度导体 , 发送电流关断时间  $t_{of}$  与畸变因子  $D_f$  ( 实际观测值与理论响应值

的比值 ) 有如下公式

$$D_f = \frac{\tau}{t_{of}} ( 1 - e^{-t_{of}/\tau} ) ,$$

其中  $\tau$  为地质导体的时间常数。对于具体的测区而言 , 时间常数是一定的 , 所以增大  $\tau$  值将使观测值愈偏离理论响应值 , 故减小发射机的关断时间  $t_{of}$  能提高观测精度 , 相应地提高仪器的探测深度。

## 2 强场源瞬变电磁仪的基本构成

基于以上认识 , 在提高瞬变电磁仪对最小电压分辨能力的基础上 , 增强了瞬变电磁仪发射电流的能力。图 1 为发射机原理框图。

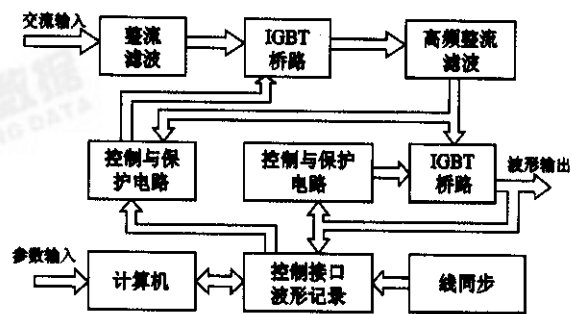


图 1 瞬变电磁发射机原理

为了减小发射机的关断时间 , 采用 IGBT 新电子元件设计了有创新意义的双桥式逆变发射控制电路 , 成功地实现在纯电阻负载下关断时间小于 1.2  $\mu$ s , 并能保证单台发射机在 100 m  $\times$  100 m 矩形回线框下 , 能发射出 50 A 的连续电流 , 而且发射机中设计的相关同步电路可通过导线使 2 台发射机同步工

作,从而使发送电流相互叠加达 100 A,大大增加了探测深度。

3 野外试验性应用

3.1 试验概况

为了验证强场源仪器系统的整体适应性,选择了安徽某铜矿区域内的 1 条已知地质剖面,对强场源瞬变电磁仪进行了试验性应用。矿区处在 1 个铜多金属矿带上,矿石类型主要有含铜磁铁矿矿石、含铜角砾状矿石、块状含铜石榴子石砂卡岩矿石等。主要金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、赤铁矿、磁铁矿、菱铁矿、黄铁矿等。工作区各类岩(矿)石电阻率值一般在 20~1 000 Ω·m 之间,最大可大于 1 000 Ω·m。电阻率较高的岩石有花岗闪长岩、石英二长闪长斑岩、石英二长闪长岩、大理石和石榴子花岗岩闪长岩,其电阻率一般在 100~1 000 Ω·m。含铜砂卡岩化闪长岩、含铜砂卡岩化花岗闪长岩的电阻率值一般在 20~30 Ω·m 之间。

从本区的地球物理特性分析,含矿闪长岩电性较低,与围岩相比明显存在电性差异,因此具备开展 TEM 方法的前提。本次野外试验工作中,考虑到矿区地形复杂、干扰较大等原因,鉴于重叠回线装置与被测对象有着最佳的耦合关系,所以选择重叠回线装置作为主要工作装置,发送电流为 38~100 A,采用 100 m×100 m 的矩形线框,发射机与接收机之间通过导线同步。测量点距为 50 m 和 25 m,接近异常区域加密测量。

3.2 资料的定性解释

图 2 为已知剖面上具有代表性的测点的衰减曲线对比。

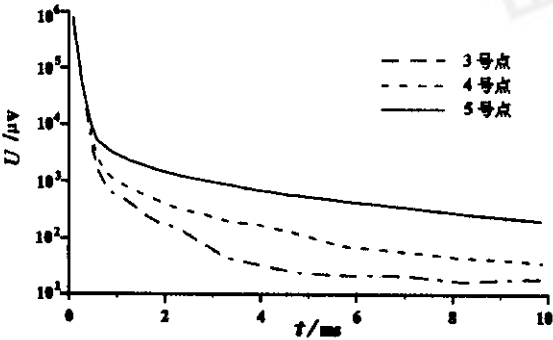


图 2 衰减曲线对比

从图 2 中可以发现,3 条曲线的早、中、晚期表现出不同的规律。在早期 3 个测点的感应电压衰减迅速,说明浅层对应花岗闪长岩等高阻体,晚期衰减较缓慢,尤其愈接近钻孔位置衰减速度越慢(5 号

点为钻孔位置)。

根据瞬变电磁法理论,有限规模的导体响应  $u(t)$  在晚期按简单的指数规律衰减  $u(t) = \frac{K}{\tau} e^{-t/\tau}$

( $K$  为常数,  $\tau$  为与导体有关的时间常数,与异常体电性和几何形态有关,大多未知),由上式推出的时间常数通常成为视时间常数,以  $\tau_s$  表示。计算方法可采用  $\tau_s = \frac{t_j - t_i}{\ln(u_j/u_i)}$ ,单位 ms,其中  $t_j > t_i$  都是晚延时的采样时间,  $u_j$ 、 $u_i$  为相应的响应值。

基岩区

$$\tau_{sj} = \frac{0.7938}{|\ln 0.00003625 - \ln 0.000024042|} = 1.933;$$

接近铜矿区

$$\tau_{sk} = \frac{0.7938}{|\ln 0.000211029 - \ln 0.00015461|} = 2.55;$$

铜矿区

$$\tau_{st} = \frac{0.7938}{|\ln 0.00080431 - \ln 0.00064779|} = 3.668。$$

因此  $\tau_{sj} < \tau_{sk} < \tau_{st}$ 。

一般说来,  $\tau_s$  愈大,异常体的导电性和体积的乘积愈大。通过它可定性判断异常体性质并为后期资料处理提供参考。

3.3 资料的后期处理及结果

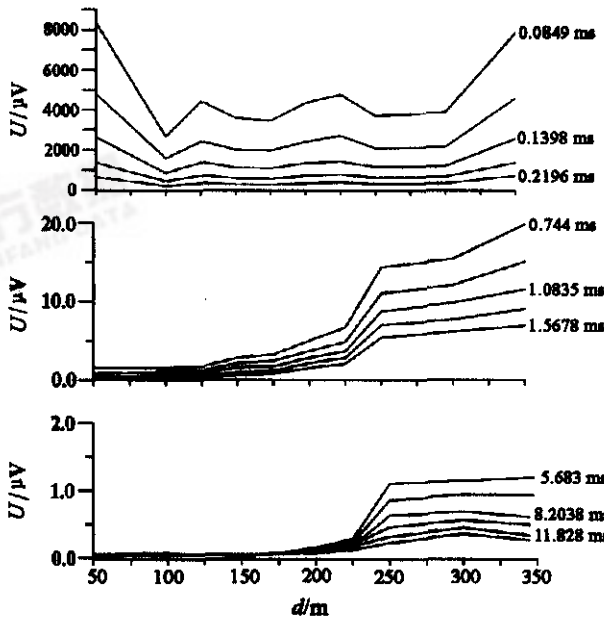


图 3 电压抽道曲线

图 3 为已知剖面的电压抽道曲线(250 m 处对应 5 号点),从图中可以看出,由于浮土的影响,早期感应信号非常高,但随着时间的推移,探测深度相应增大,感应信号越来越弱,这正对应浮土下的花岗

闪长岩等高阻体,随着深度的进一步增加,在 5 号点的附近,电压快速上升,说明存在 1 个比较大的低阻异常体。

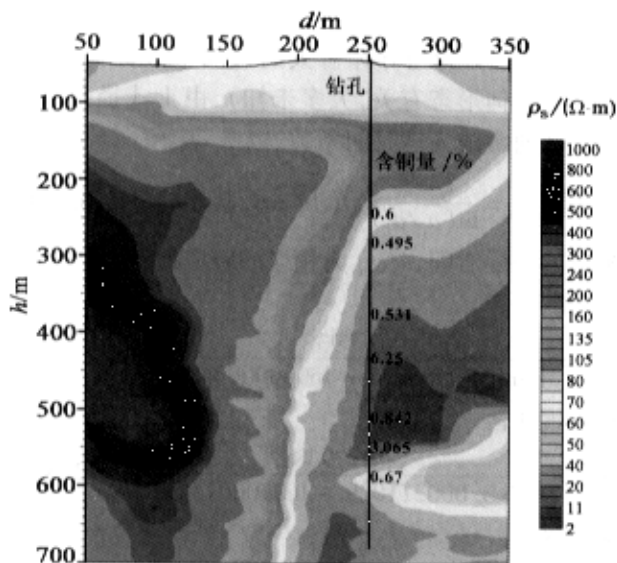


图 4 试验结果与钻探成果对比

将测量数据用自行研发的数据处理软件进行反演,可以发现在 5 号点的 450 ~ 550 m 处,对应着 1 个低阻异常体,对照测区各类矿石的常见电阻率值,其电阻率与含铜矽卡岩化闪长岩、含铜矽卡岩化花岗闪长岩的电阻率值很接近,通过与钻探资料对比,可发现由强场源瞬变电磁仪测得的数据进行反演所得的结果与钻探成果非常吻合(图 4)。

## 4 结论

本次试验所选的剖面位于开采矿山附近,各种人文干扰非常强,常规的电法、电磁法无法取得令人满意的数据,而试验采用了强场源大电流多次叠加技术等压噪技术,因而取得了较好的数据,说明强场源瞬变电磁仪完全能适应南方这种地形起伏较大、浮土较厚的野外实际情况,所采集的数据是可靠的,该仪器可适用于生产矿山开展深、边部资源勘探。

## 参考文献:

- [1] 牛之琰. 时间域电磁法原理[M]. 中南工业大学出版社, 1992.
- [2] 考夫曼 A A, 凯勒 G V. 频率域和时间域电磁测深[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [3] 陈明生. 瞬变电磁法资料的联合时-频分析初探[J]. 煤田物探, 1999 (6).
- [4] 过仲阳, 王家林, 吴健生. 应用遗传算法联合反演地震—大地电磁测深数据[J]. 石油物探, 1999 (3).
- [5] 杨文采. 地球物理反演的理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [6] 马在田. 计算地球物理学概论[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [7] 张宜华. 精通 MATLAB 5[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [8] 杨长福, 林长佑, 陈军营, 等. 三维瞬变电磁近似反演[J]. 地震学报, 2000 (7).
- [9] 于生宝, 林君. 瞬变电磁法中发射机关断时间的影响研究[J]. 石油仪器, 13(6).

## THE STRONG FIELD SOURCE TRANSIENT ELECTROMAGNETIC INSTRUMENT AND ITS TENTATIVE APPLICATION IN A COPPER MINE

LIU Jian-xin<sup>1</sup>, LIU Chun-ming<sup>1</sup>, TONG Yan-guang<sup>2</sup>

(1. Institute of Information Geophysical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Jilin University, Changchun 120026, China)

**Abstract:** In order to extend the exploration depth of the transient electromagnetic instrument, the authors have successfully developed the strong field source transient electromagnetic instrument on the basis of adsorbing ripe technology in electron industry. The instrument has such merits as transmission of large quantities of current, short cut-off time and great exploration depth. A tentative application of this instrument in a certain copper mine has proved that it can be used effectively in field work.

**Key words:** transient electromagnetic method, exploration depth, time constant, strong field source

作者简介: 柳建新(1962—)男,教授。1983年毕业于中南矿冶学院,现为中南大学信息物理工程学院副院长。主要从事电法、电磁法理论及应用研究。

万方数据