

The Application of EM76 Transient Electromagnetic Method in a Lead-Zinc Mining Area in Fujian

Qian Meiping Yang Sheng Zhao Yonggang

- 1 Team 814, East China Bureau of nonferrous metal Geological Exploration, ZhenJiang JiangSu , 212005;
- 2 China Nonferrous Metal Resource Geological Survey Center, Beijing Zhongse geophysical exploration Ltd, BeiJing , 100045

Abstract: Transient electromagnetic method is a electromagnetic induction method , which transmit the primary impulse magnetic field to the ground with non-earthing loop or earthing line source and measure the secondary eddy current during the absence of the primary magnetic field with the loop or line source . Currently , the transient electromagnetic method (TEM) has been widely used for mineral resources exploration , such as , metals , petroleum and subterranean heat , also widely used in engineering, the basement rock and seeking groundwater as well as prevention disaster.

So on the basis of the example that apply transient electromagnetic method to a Lead-Zinc mining area in FuJian province , this article introduces the EM67 transient electromagnetic system performance, the field operation of big fixed-source loop-line, the data processing and the interpretation method. The data interpretation inferred 5 hopeful exceptions, after making use of drilling confirmation to 4 exceptions, 3 exceptions present industrial mineral ore, the greatest thickness is 12.5 meters, 1 exception presents mineralization and pyrite. Under bad work area terrain condition and serious electromagnetic interference circumstance, the EM67 transient electromagnetic system has obtained the good prospecting effect, explained this system has the stronger anti-interference ability and the higher working efficiency.

Keywords: transient electromagnetic method (TEM), fixed-source big return wire survey, EM67 transient electromagnetic system, Lead-Zinc mineral exploration

EM67 瞬变电磁系统在福建某铅锌矿区勘探中的应用

钱美平¹ 杨 生² 赵永刚²

1. 江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队, 江苏 镇江 212005;
2. 有色金属矿产地质调查中心北京中色物探有限公司, 北京, 100045

提要: 通过在福建某铅锌矿区应用瞬变电磁法勘探的实例, 介绍了 EM67 瞬变电磁系统性能、定源大回线的野外工作、资料处理和解释方法。资料解释中推断了 5 处有望矿异常, 经对其其中 4 个异常钻探验证, 其中 3 处异常见到工业矿体, 最大厚度 12.5 米, 另 1 处异常见到了矿化和黄铁矿。EM67 瞬变电磁系统在工区地形条件恶劣和电磁干扰严重的情况下, 取得了好的找矿效果, 说明该系统具有较强的抗干扰能力和较高的工作效率。

关键词: 瞬变电磁法; 定源大回线测量; EM67 瞬变电磁系统; 铅锌矿勘探

1 前言

瞬变电磁法 (Transient Electromagnetic Method) 简称 TEM, 当利用不接地回线或接地线源向地下发送脉冲磁场时, 其周围会产生一个相应的磁场, 关断供电回路的电流后, 变化的磁场在地下导电介质中产生感应电流 (涡流), 并由于热损耗而随时间衰减, 其衰减特性与地下的电性结构有关。瞬变电磁法就是利用线圈或电极观测这个断电后的涡流场 (称为“二次场”) 的时间特性, 以研究地下的电性结构, 达到地质勘探的目的。所以瞬变电磁法具有地形影响小、分辨率高、抗干扰能力强、不受高阻影响、勘探深度大等特点。近二十多年来, 随着先进仪器的涌现以及解释方法研究的深入, 已广泛应用于深部找矿、油气勘探等领域。

福建省某铅锌矿于 1969 年建矿以来, 历经 35 年的采掘, 现在 485 米以上地段的矿体基本采掘已空, 485 米以下部分地段正在回采, 接近尾声, 后备资源严重不足, 为促进矿山的持续发展, 急需解决资源接替探矿问题, 因此于 2005 年投入了 EM67 瞬变电磁系统进行勘探, 勘探面积 2km^2 , 网度 $100\text{m} \times 50\text{m}$, 共计施测 417 个点, 取得了较好的地质效果。

2 矿区地质概况及地球物理特征

2.1 地质概况

测区的地层主要为: 石炭系由灰—灰黑色粉砂岩、泥岩、灰岩和灰白色大理岩组成, 多处与花岗斑岩、石英斑岩、流纹斑岩等岩脉接触, 少数为破碎带接触, 见于矿区深部。二叠系由灰—灰黑色—灰白色灰岩, 黑色泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩组成。三叠系地层由硅质岩、砂卡岩、绿帘角闪岩、大理岩、灰岩组成。第四系主要为残坡积、少量冲积层, 由粘土、泥砂、砾卵石等组成, 分布于测区内山间盆地中。

区内岩浆岩比较发育, 有石英斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩及花岗岩, 在岩体的内外接触带中多处形成铅、锌、铜矿床 (点)。

区内原探明大小矿体 153 个, 形态主要为似层状、脉状、扁豆状、透镜状等。矿体规模一般延长小于 100 米, 延深小于 50 米, 平均厚度 1—5 米。主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿, 其次为黄铁矿、黄铜矿; 少量辉钼矿、磁铁矿、磁黄铁矿、赤铁矿。

2.2 地球物理特征

矿区岩矿石的物性参数测定是地球物理勘查工作的重要组成部分, 是物探工作的前提条件, 也是物探异常解释的依据。矿区各类岩矿石的电阻率参数统计见表 1。

矿区岩矿石电性参数表 表 1

岩矿石名称	块数	电阻率 (Ωm)			极化率 (%)		
		最大值	最小	平均	最大值	最小值	平均值
矿石	23	867	1.7	662	85.1	3.6	16.3
斑岩	14	7189	146	2953	26.4	1.6	8.4
灰岩	49	6630	311	1351	14.6	0.8	5.2
石英脉	6	1095	491	792	7.8	2.9	5.9
炭质灰岩	67	2367	42	1227	41.7	2.7	11.3

由表可知，本区铅锌矿石电阻率较低，仅是其它岩石的 $1/ (18-204)$ ；极化率较高，是其它岩石的 $1.5-3$ 倍。铅锌矿石与围岩有较明显的电性差异，具有投入瞬变电磁法勘探的物性前提。

经过踏查，本区第四系覆盖较厚、沟谷中水系发育对电磁场具有屏蔽作用，矿山的运输铁轨、动力设备、生活区内的自来水管网、炭质灰岩的大范围存在会给电磁法工作带来严重影响，在分析瞬变电磁资料时一定要考虑这些因素。

3 EM67 瞬变电磁系统

EM67 瞬变电磁系统是加拿大 Geonics 公司生产的时间域瞬变电磁仪，Geonics 公司是世界闻名的专门生产电磁法仪器的专业公司，它生产的频率域和时间域仪器都很先进。该公司在 80 年代初生产了第一种瞬变电磁系统，型号为 EM37，应用于勘探深部矿产和地质填图。随着时间的推移，Geonics 公司经过多年的研制与试验，在 1987 年推出了微机控制、菜单操作的专用接受机和数种发射机系列，接收机为：PROTEM (Professional Time Domain EM)。发射机系列为：小功率发射机 TEM47；中功率发射机 TEM57 和大功率发射机 TEM67，上述 3 种发射机与 PROTEM 接收机分别构成 EM47 系统、EM57 系统和 EM67 系统。EM67 系统具有分辨率高、动态范围大、抗干扰能力强、探测深度范围大等优良性能，其技术指标如下：

接收机系统的技术指标：

测量参数: dBx/dt 、 dBy/dt 、 dBz/dt 三个方向的瞬变磁场

通道: 3 道 (3 个分量同时测量)

延时窗口: 20 个或 30 个

动态范围: 23 位 (132dB)

增益: 手控 51-6528 倍

叠加次数: 2-4096 次 (2 倍增加)

同步方式: 石英钟或同步电缆

基频: 0.25, 0.625, 2.5, 6.25, 25, 62.5, 237.5Hz

延时范围: $6\mu\text{s}$ —80ms

积分时间: 0.25, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120sec

处理器: CMOS68HC0008MHzCPU

数据: 可充储 3300 个测点数据, RS232 输出

显示: 240×60 液晶显示

内部电源: 12V

重量: 15 公斤

尺寸: 24×38×27cm

接收线圈: 3 分量, 有效面积 200m^2 , 大小: 65×58×18cm

发送系统的技术指标:

发射波形: 双极性方波, 占空比 50%

发射基频: 2.5, 6.25, 25Hz

关断时间: 20—750 微秒, 取决于发射框和发射电流大小及线圈数

发射线圈: 最大可达 2000×2000 米

输出电流: 25A

输出电压: 18—150V 连续可调

发射功率: 3800W

电源: 4500W 220V 发动机

同步方式: 石英钟或同步电缆

重量: 15 公斤和 12 公斤

尺寸: 43×25×25cm 和 42×20×31cm

4 野外工作方法

根据地质任务要求、测区地形条件和物性特征,采用了定源大回线工作装置,框内框外三分量(dBz/dt 、 dBx/dt 、 dBy/dt)测量,如图2所示。

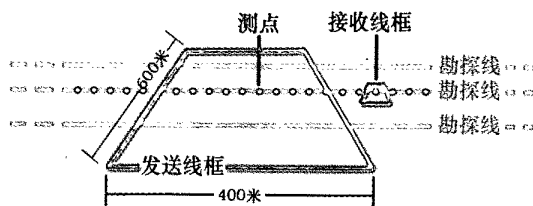


图1 定源大回线框内框外测量装置图

供电回线框大小为 $400\text{m} \times 600\text{m}$, 每5条测线共用一个框, 供电基频 25Hz , 发射电流为 17A , 关断时间为 $335\mu\text{s}$ 。发射机和接收机采用石英钟同步, 接收线圈的 X 方向指向剖面的大号点方向(或说指向处理解释成图剖面的右端), 观测 dBx/dt 、 dBy/dt 、 dBz/dt 三个分量, 叠加次数为 256 次。观测完后, 对数据和曲线进行全面检查, 合格后移到下一测点。在工作过程中, 均匀地在测区内的几个地方, 观测了噪声水平, 掌握测区干扰分布情况, 确定实测资料中晚期道数据的置信度。

野外测点定位采用卫星定位仪(GPS)导航方式, 寻找设计点位, 达到容许偏差后记录 GPS 实测点位。

TEM 测量检查率为 9.0%, 均方相对误差 $\pm 4.21\%$, 达到了 A 级精度。

5 数据处理和解释

5.1 数据处理

EM67 系统接收机的记录值 $m(t)$ 和接收线圈中的感应电压 $\varepsilon(t)$ 的关系为^[1]:

$$m(t) = -1000 \times 52.1 \times 2^N \times \varepsilon(t) \quad (1)$$

t 为断电后衰减延时(s); 52.1 是接收机前置放大器的放大倍数; 2^N 是接收机共用通道的放大倍数; $m(t)$ 的单位为 mV ; $\varepsilon(t)$ 的单位为 V ; 而 1000 为单位变换系数。因感应电压和瞬变磁场具有如下关系:

$$\varepsilon(t) = -R_{xa} \times \text{dB}(t)/\text{dt} \quad (2)$$

上式中, $\text{dB}(t)/\text{dt}$ 是瞬变磁场随时间的变化率 (V/m^2), R_{xa} 是接收线圈的有效面积, 为 200m^2 ,

将式(2)带入式(1)得

$$\text{dB}(t)/\text{dt} = 96 \times m(t)/2^N \quad (3)$$

上式则是由仪器记录数获的 $\text{dB}(t)/\text{dt}$ 的关系。因实测的 $\text{dB}(t)/\text{dt}$ 很弱, 考虑到计算精度、

数据占位数和表示的合理性,式(3)中 $\text{dB}(t)/dt$ 的单位已变为 nV/m^2 或 nT/s 。

另一方面,因为 $\text{dB}(t)/dt$ 与发射磁矩呈正比,对于一个勘探工程,发射框大小一般是不变的,但发射电流可能在一个工区中,随着框一地偶合条件的不同,不同工作日的发射电流可能略有不同,所以为了资料的可比性,我们将 $\text{dB}(t)/dt$ 对发射电流进行了归一处理。

由于电磁噪声会对测区内的某些测点或测点中的某一时间道数据造成干扰,二次场衰减到晚期道时,有用信号可能已衰减为 0,仪器测量的数据全为噪声,所以在资料解释前要进行去噪处理。

去噪工作是通过人机联作的方式完成的,对某一点的瞬变电磁曲线,参考前后点的资料和自身曲线的连续性,确定其受电磁干扰影响的程度,将受干扰严重的某一时间道数据舍掉。若整条曲线都受干扰时,则舍掉整点数据。而对于晚期道资料,依据噪音水平测点资料,以 2 倍平均噪声值作为可置信信号水平,作为晚期道数据的取舍标准。

对于 50Hz 的干扰,因采用的是双极性供电方波工作,二次场数据是由正、负半周衰减数据反相叠加取得,所以在供电周期是 1/50s 的偶数倍时(如:1/25s、1/6.25s、1/2.5s),正好可保 50Hz 干扰正反相叠加而消除。

完成上述工作后,可计算出定源大回线视电阻率^[2]进行资料的定性分析,绘制瞬变电磁响应剖面图和进行三维模拟。

5.2 资料解释

图 2 是第 10 道(时间: $t=0.6313\text{ms}$)的视电阻率平面等值线图,发现有 9 个低阻异常,并进行了编号, D1—D9。由于测区范围内有矿山生活区的上下水管道、选矿厂、水泥厂、炼铁厂、运输铁路、各种电力设施、采矿区内的送风

给水设备等诸多低电阻强磁因素,给测量和解释带来干扰,所以在解释前对异常进行了详细的踏勘,排除干扰因素引起的异常,定性地推断有 5 个异常为有望矿异常,排序为: D6、D7、D8、D9、D4。

图 3 为通过 D9 号低阻异常的 18 线瞬变电磁响应剖面图,剖面异常南缓,北陡,推断低阻体南倾,异常为双峰值,峰值分别在 11 号点和 14 号点上,在早期道,14 号点的值为 11 的两倍,到晚期,两者接近,由此推断是多层低阻体的组合异常,采用 EMIAMG 软件,三维模拟了 2 层,埋深分别在 60m 和 250m。

根据 EM67 瞬变电磁成果,矿区对 D6、D7、D8、D9 四个异常进行了钻探工程,除 D7 异常见到强黄铁矿化和 0.5 米的铅锌矿外,其余三个异常均见到较好的工业矿体,最厚的矿体达 12.5 米。其中 18 线上的 D9 号异常,钻孔分别在 69 米、240 米、384 米、400 米和 410 米见矿。

6 结语

本区的工作说明 EM67 瞬变电磁法在金属矿勘探中可发挥很好的作用,特别是工区地形条件十分恶劣,沟深山陡,高差达 500 多米,灌木刺草丛生。又因是一个正在生产的矿山,电磁干扰源五花八门,在这样的条件下,EM67 瞬变电磁系统取得了较好的地质效果,说明

该系统具有较强的抗干扰能力和较高的分辨能力。

在 D6 号异常地段发现的矿体是两采空区间漏掉的矿体。这一实例说明在老矿山寻找第二赋矿空间，解决危机矿山的资源接续问题亦可发挥作用。

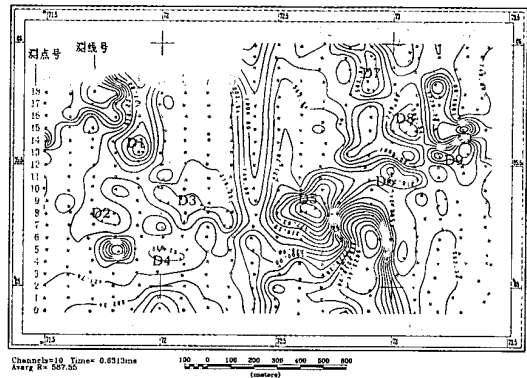


图 2 第 10 道 (0.6313ms) 视电阻率平面等值线及低阻异常分布图

(注：D1—D9 为低阻异常位置和编号)

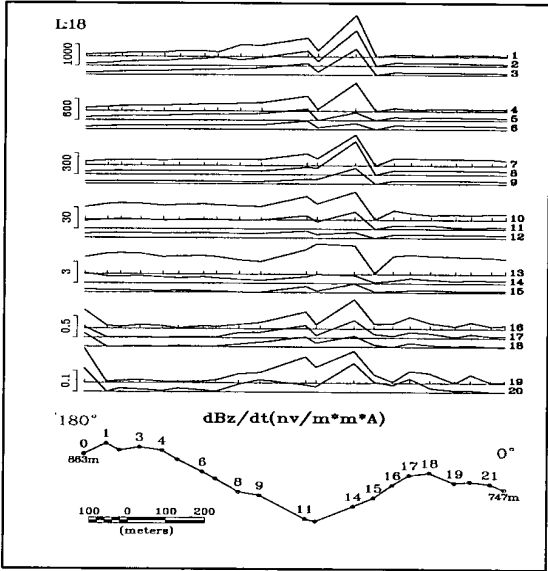


图 3 18 线瞬变电磁响应剖面图

(D9 低阻异常在该线的 10—14 号点上)

参考文献

[1] 牛之琰.时间域电磁法原理[M].长沙:中南工业大学出版社.1992
[2] 蒋邦远主编.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M]. 北京:地质出版社.1998.