

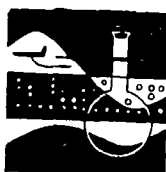
金属矿区井中脉冲瞬变电磁法 的应用效果

蒋慎君 陈 卫

(华东有色地质勘探公司 814 队)

在苏皖几个矿区开展了井中脉冲瞬变电磁法找矿, 发现了 400 米深处的井旁盲矿异常。通过分析二次场(ϵ_2) 衰减曲线和视时间常数(T_c) 推断导体的电性; 通过方位测井曲线确定矿体位置和产状。该方法可区分良导矿体与黄铁矿矿化、浸染状贫矿(矿化)。

关键词: 井中脉冲瞬变电磁法; 盲矿体



物探与化探

近几年来, 我们在苏皖地区的某些金属矿床上, 开展了井中电法找矿工作, 其中包括井中脉冲瞬变电磁法、井中激发极化法, 以及激发极化法、电阻率法、自然电位法测井等。它们在划分地层、圈定矿体, 确定电性参数, 发现井底、井旁盲矿体(化), 确定矿体空间位置和产状, 区分致密状矿石与浸染状贫矿等方面, 均取得了较好的效果。本文着重介绍井中脉冲瞬变电磁法的应用效果。

方法原理

脉冲瞬变电磁法(TEM)采用定源回线或动源偶极发射周期重复的脉冲电流, 在空间建立脉冲式一次电磁场(激励场), 在脉冲间隔地下导体受激发而感应产生涡流, 在空间形成瞬变二次磁场(过渡过程)。根据脉冲间隔不同的延迟时间道进行测量, 按接收到的感应电动势(ϵ_2)的时空特性推断导体的电性及其产状要素, 达到找矿的目的。主要的时间特性为: ①分析二次场(ϵ_2) 振

幅值的衰减速度。导体的导电率愈高、规模愈大, 其涡流的热损耗就愈小, 则 ϵ_2 幅值随时间衰减愈缓。②求取视时间常数

$$T_c = (t_2 - t_1) / \ln \frac{A_1}{A_2}$$

式中, t_1 、 t_2 为相邻延迟道的取样时间; A_1 、 A_2 为相邻道二次场 ϵ_2 的振幅值。波谱分析表明, 二次场 ϵ_2 是各次谐波二次场的叠加。其中, 早期道高频成分多, 穿透深度小, 受浅部影响大, 所以通常取晚期相邻道进行计算, 以 T_c 值的大小判断导体电特征及其性质(表 1)。空间特性主要测量 ϵ_2 的矢量、激发体的几何尺寸和产状在不同方位的发射框下与钻孔的相对位置, 以及不同测量

表 1

导体性质	视时间常数 (微秒)	备 注
极良导体	>1000	金属
良导体	200~1000	硫化物、石墨
中良导体	100~200	贫矿、导电粘土、蛇纹岩
劣良导体	<100	火成岩、变质岩、沉积岩、清水

道产生的不同形态的 ε_2 曲线等。

由于脉冲瞬变电磁法采用的是低频激励场, 穿透能力强, 并测量若干延时道的二次场异常, 故可排除一次场的干扰, 因而具有勘探深度大、抗干扰能力强、分辨率高、不受地形影响等优点, 是一种有前景的物探找矿方法。

工作中使用的是DMD-Ⅱ型脉冲瞬变电磁仪。用地面定源大回线发射, 断电后五道取样时间(0.3、0.5、0.7、0.9、1.3毫秒)测量二次场沿井轴方向的分量(图1)。

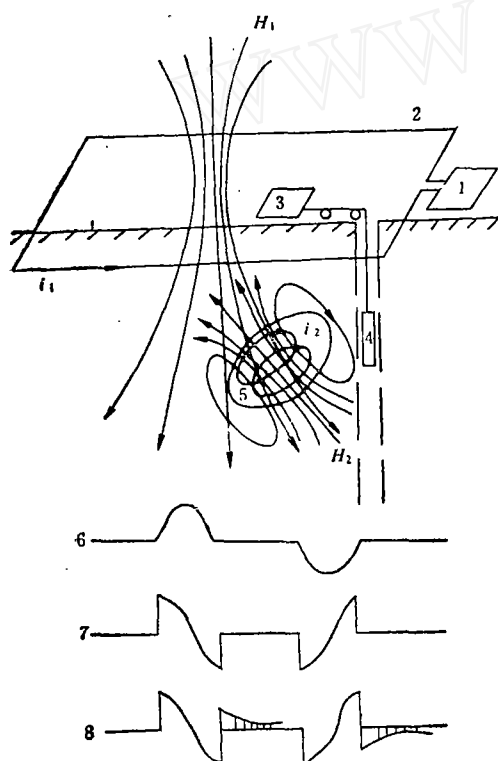


图1 井中脉冲瞬变电磁法工作原理图

1—发射机; 2—发射回线; 3—接收机; 4—接收线圈; 5—良导体; 6—发射回线上脉冲电流波形; 7—地下无良导体时接收线圈上电压波形; 8—有良导体时接收线圈上电压波形; i_1 —脉冲电流; i_2 —涡流; H_1 —一次场; H_2 —二次场

实例

1. 华东某硫—金矿床 矿体受断裂、裂隙控制, 主要分布于石炭纪黄龙组、船山

组白云质大理岩、大理岩和二叠纪栖霞组灰岩中, 呈层状、似层状或透镜状产出, 属沉积—高中温热液改造层控矿床、矿石由黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、白铁矿、闪锌矿、方铅矿组成。金矿物为自然金。区内有数万伏高压线穿过, 干扰很强。井中脉冲瞬变电磁法测量取得了较好的地质效果, 不仅确定了已知矿体的方位, 而且发现了井旁盲矿。

ZK2401孔在222米井段打到厚约30米的Ⅱ号硫—金矿体。在井深170米处的栖霞灰岩中发现了强而宽的 ε_2 异常, 其中0.3毫秒时间道 ε_2 振幅极大值达600余毫伏。由于仪器测定的仅是二次场的并轴分量, 对单孔来说难以确定激发体相对于钻孔的平面位置, 因而进一步作了a、b、c、d四个方位的测定(图2)。a方位(南西方向)有五个时间道出现 ε_2 负异常。根据二次场的空间分布特征, 激发体显然位于激励回线之外、井轴的其他方位下。而b、c、d三个方位的各时间道, 均出现明显的 ε_2 正异常。其中, c方位的异常最规整, 梯度最陡, 强度最大, 0.3毫秒时间道 ε_2 异常极大值达900余微伏, 是激发体的主要赋存方位。计算得 $T_c=1000$ 毫秒, 接近于极良导体。用板状体0.5电平异常的半宽度计算, 盲矿体距井约16米, 埋深170米。在图3所示的剖面上, ZK2508孔位于ZK2401孔的南东东方向, 在281.41米见到Ⅰ号硫—金矿体, 推测ZK2401孔170米处的 ε_2 异常系该矿体的顶部所引起。据此推断矿体的延伸长度, 比地质按孔距1/2圈定的矿体要长得多(60余米)。当然也不排斥该异常是由Ⅰ号矿体延伸方向上的另一层矿所引起。地质将布孔验证。

此外, 对ZK2401孔a、b、c、d四个方位测量, 接近Ⅱ号矿体的上、下界 ε_2 异常均有跃升现象。进入矿层后, 因受电磁屏蔽作用, 发射、接收不能同步而无法测量。说明该方法能准确圈定良导矿层的厚度。

2. 华东某铅锌银矿床 为一个层控热

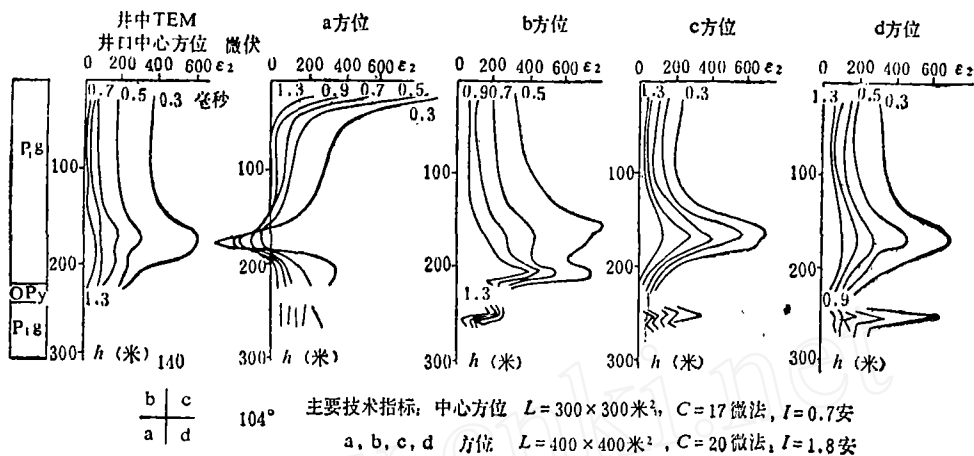


图 2 ZK2401孔井中TEM曲线

P₁g—栖霞组灰岩；OPy—硫-金矿体

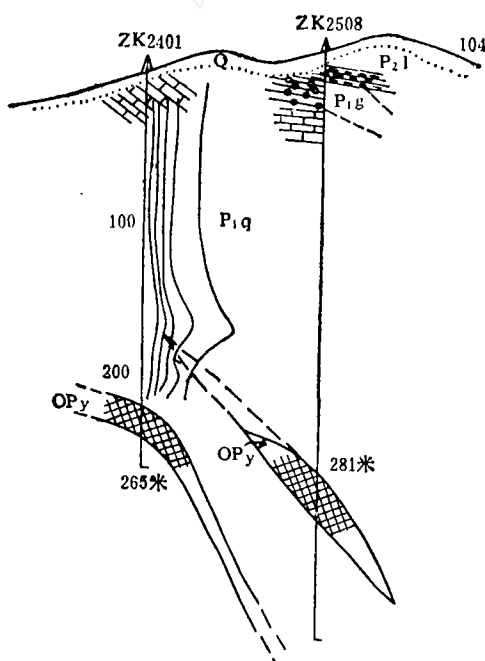


图 3 ZK2401孔地质剖面图

Q—第四系；P₂—龙潭组粉砂岩；P₁—栖霞组灰岩；P₁g—孤峰组灰岩；OPy—硫-金矿体(虚线部分为推断矿体)

液矿床。矿体主要赋存在侏罗纪象山群砂岩(上构造层)与志留系—三叠系(下构造层)之间平缓的断碎不整合面上,以及下构造层内陡立的纵向断裂中。矿区断裂构造复杂,矿体埋深多大于300米,而且本身并不含磁

性矿物。地表浮土厚平均13米。上构造层平均 $n \times 10^2$ 欧姆米。以往投入的地面物探方法(重力、磁法、中梯激电、电阻率与激电测深、浅层地震等),均因场源信息弱,断裂或低阻覆盖层干扰,或受仪器功率限制,均未建立起直接的找矿标志。

为扩大矿区远景,寻找矿段南带不整合面及纵向断裂F₄(栖霞组与龙潭组之间的断裂)内的矿体而施工的两个钻孔均未达到目的。

(1) ZK1667孔:在孔深435米处打到的F₄纵向断裂,比地质推测的部位向南东方向平移了约100米。断裂带中未见矿体。第四纪表土厚度大于20米。脉冲瞬变电磁法在408米深处发现一个 ϵ_2 负异常(图4、5),故未作方位测井。由于钻孔是向南东倾斜的斜孔,所以虽是井口中心方位,但对井轴深部测量而言,发射线框实际上相当于北西方位。它与ZK2401孔(直孔)a方位相似,也产生 ϵ_2 负异常。据此,激发体应在南东方位。异常宽度大,从井深200米左右开始, ϵ_2 曲线从正背景上逐渐下降,并愈来愈陡(尤其是0.3毫秒早期道)。五个时间道的 ϵ_2 曲线在360米处相交,至408米处出现负峰值,然后急剧回升到正值。曲线整体上翼

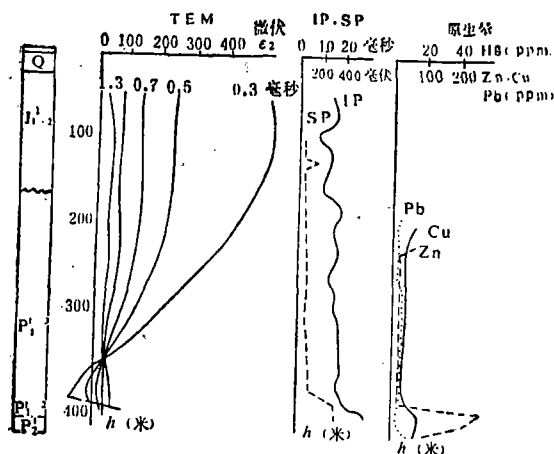


图 4 ZK1667井中物化探曲线图

Q—第四系, J_{1-2} —象山群砂岩, P_{1-3} —栖霞组灰岩, P_{1-2} —栖霞组燧石灰岩, P_2 —龙潭组粉砂岩; 井口中心方位: $L=400 \times 400$ 米, $C=13$ 微法, $I=1.5$ 安

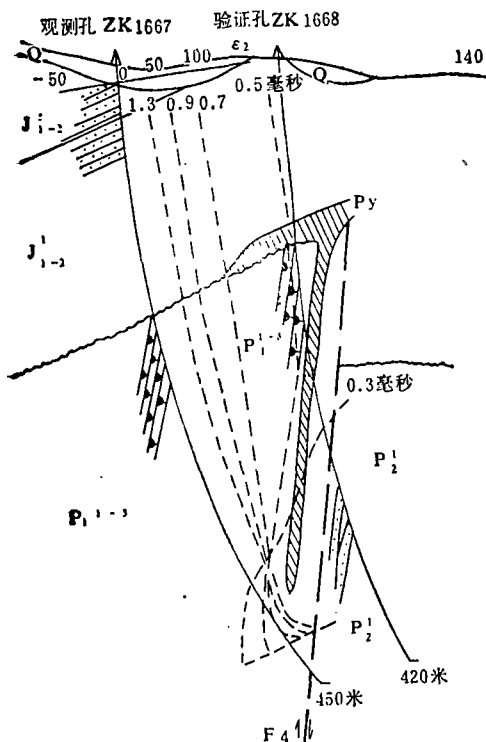


图 5 ZK1667井地质剖面图

Py—黄铁矿矿体, F_4 —断层 (其余图例 同图4)

缓、下翼陡, 说明激发体在井深408米处的上部尖灭, 产状较陡、二次场 ϵ_2 振幅极值衰减曲线缓慢 (图6), 视时间常数 $T_e=420$ 微

秒, 激发体为良导体。此外, 激电 (IP) 和自电 (SP) 测井均在相应深度有明显的异常存在, 极值分别为22和270毫伏。异常部位钻孔原生晕Zn、Cu含量均高于背景值。结

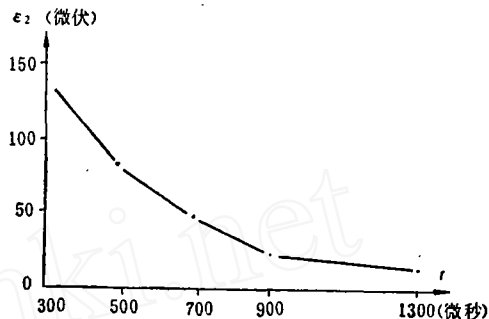


图 6 ZK1667井中TEM异常衰减曲线

合地质条件, 当时推测ZK1667孔 ϵ_2 异常为钻孔东南部 F_4 断层中赋存有致密块状的薄板硫化矿体。经ZK1668孔验证 (见图5), F_4 断层中虽未见到矿体, 但在与 F_4 断层平行的下构造层栖霞灰岩中 (178米深) 见到厚5米多的块状黄铁矿 (品位 $>8\%$); 在不整合面上 (100米深) 见到厚10米的黄铁矿。可见 ϵ_2 异常是与 F_4 断层平行的块状薄板黄铁矿所引起, 其下延部位与 ϵ_2 异常位置相当。 ϵ_2 异常的深度 (408米) 与 F_4 断层深度 (435米) 相差27米。假如 F_4 断层中赋矿, 按其产状将在井深435米以下产生 ϵ_2 负异常。验证前的推测显然受到已知赋矿构造 F_4 断层的影响。钻孔原生晕Zn异常幅值大, Cu异常略高于背景, Pb元素含量甚低, 是矿区内黄铁矿所具有的特征, 当时忽略了这一点。总之ZK1667孔 ϵ_2 异常是可靠的, 并得到了证实。

(2) ZK1926孔: 除了在栖霞组燧石灰岩中见到薄层铅锌矿 (184米处) 和黄铁矿 (191米处) 外, F_4 断层中未见矿体 (图7)。脉冲瞬变电磁法在井深190和270米处发现 ϵ_2 异常。190米处的异常变化平缓, 宽约40米, 略呈马鞍形。二次场 ϵ_2 振幅极值随时间衰减曲线较缓慢 (图8), 视时间常数 $T_e=400$ 微秒, 属良导体。对比钻孔地层,

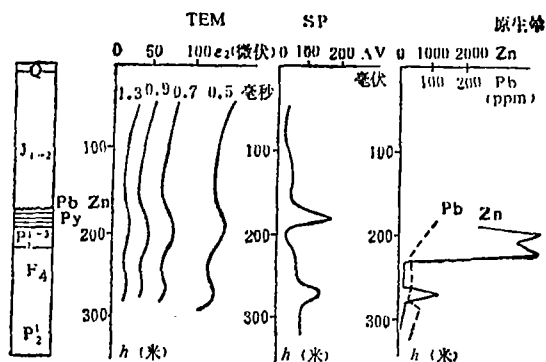


图 7 ZK1926孔井中物化探曲线图

Pb-Zn—铅锌矿体, Py—黄铁矿体
(其余图例同图4)

认为190米处的 ε_2 异常为其对应深度上相邻两层铅锌矿、黄铁矿所引起。由于其产状陡,与钻孔夹角小,因而具有宽缓叠加异常的特征(图9)。值得指出的是,在井深270米处的龙潭组粉砂岩地层中未见矿化和蚀变

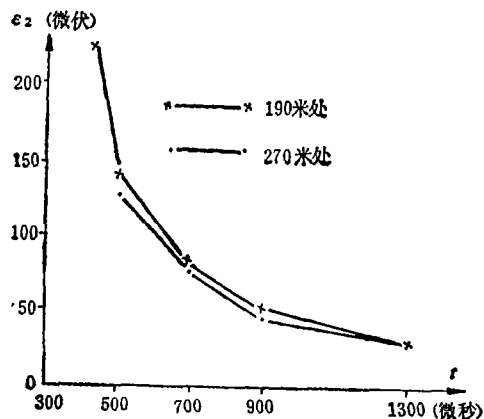


图 8 ZK1926 孔井中TEM异常衰减曲线图

现象, ε_2 异常曲线特征与190米处截然不同。去掉背景场后,260米测点上的 ε_2 为负值。 ε_2 幅值随深度加大而增大并变为正,梯度变陡,270米处出现极大值。深度继续增大, ε_2 幅值下降甚至有低于背景值的趋势。但总体上 ε_2 异常为正异常,与ZK1667孔相反。因此,激发体应在井轴下方(即勘探剖面的北西方向),属近于垂直激励下(发射线圈框线范围以下)的陡立薄板体。其顶部距钻孔

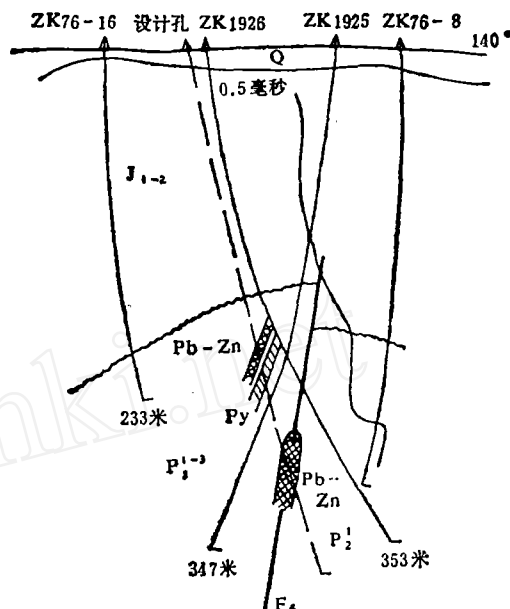


图 9 ZK1926孔钻孔地质剖面图

(图例同图4)

较近,相对于280米深的位置(见图9)。从 ε_2 异常的过渡过程特点来看,振幅极值随时间的衰减缓慢(见图8), $T_c = 440$ 微秒,属良导体。需要说明的是,井中脉冲瞬变电磁法采用的是 400×400 米大回线激励场源,回线中心部位一次场的方向可近似地看作垂直向下。当激励场方向与激发体截面正交时,激励效果最佳,而对埋藏较深的陡立矿体则不利。因此,能产生如此明显的 ε_2 异常是很可观的。同时,在上述两个 ε_2 异常的相应部位均有明显的自电(SP)异常,其极值分别为177和140毫伏。前者强度较大、较陡,反映了浅部已知的薄矿层;后者较平缓,可能是近旁的盲矿体所致。另外还有钻孔原生晕Pb、Zn异常与之对应,尤其是Zn异常,在270米处达1200ppm,而Cu元素含量甚低,其特点与ZK1667孔不同。这些都进一步说明270米处 ε_2 异常的有望程度。为此,推测钻孔所见F4断层下延部位赋存有块状铅锌矿体(见图9),有待于钻探进一步验证。

3. 江苏某斑岩铜矿床 为了验证地面中梯激发极化法异常, 施工了ZK342孔。该孔穿过100米的石英二长斑岩后进入花岗闪长斑岩岩体, 于155~404米区间见到9层铜品位大于0.4%的斑岩铜矿, 总厚145米。花岗闪长斑岩普遍含铜矿化和含铜黄铁矿矿化。为进一步寻找斑岩铜矿, 投入了电法工作(图10)。鉴于钻孔下套管至260米, 故上部无法测量; 下部已知斑岩铜矿地段, 脉冲瞬变电磁法各时间延迟道均未见异常, 含铜黄铁矿矿化地段也无异常反映。说明此类激发体产生的涡流效应较弱, 不易测到二次场 ε_2 异常。与此相反, 在同样一些地段, 激发极化法却产生明显的异常, 如井深270米, 310米, 340米和380米附近, 充电率均大于

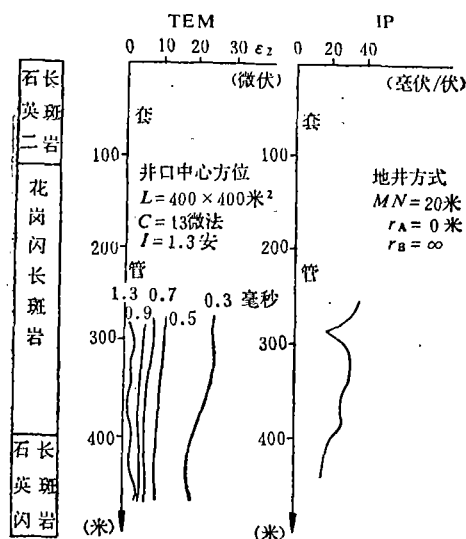


图 10 ZK342孔井中TEM、IP曲线图

30毫伏/伏。其他矿化地段的充电率也在20毫伏/伏以上。而底部410米以下的石英闪长

斑岩, 其充电率仅17毫伏/伏左右。

几点认识

华东地区几个矿区十多个钻孔的电法测井实践表明, 脉冲瞬变电磁法是寻找有色金属盲矿体的有前景的手段之一。

1. 强工业电流干扰和低阻厚覆盖屏蔽, 对井中脉冲瞬变电磁法影响不大。DMD—Ⅱ型仪器有可能获得500米深处的可靠信息。如地电条件好, 或采取适当措施, 其测量深度可达到600米。

2. 井中脉冲瞬变电磁法对寻找井旁、井底的致密块状良导盲矿体有效。单井可通过方位测井来确定矿体位置及其产状。

3. 该方法可区分浸染状贫矿(化)和黄铁矿矿化, 比井中激电具有更高的分辨能力和选择性。两者配合, 是井中寻找致密块状良导体和斑岩型矿床的重要手段。

4. 该方法能较准确地划分良导矿层的厚度, 发现由于岩心采取率不高而漏掉的矿层。对于薄的良导体来说, 点距要密, 否则仅有 ε_2 异常显示, 而无法分层。

5. 仪器尚需加大发射功率, 产生大幅度电流脉冲, 扩大接收延迟道, 以便测定长时间衰减。回线框的几何尺度应有不同的选择性, 以加大其勘探深度和分辨能力。

6. 加强理论研究和模拟实验, 进一步完善推断解释工作。

工作中得到810队、812队和桂林有色矿产地质研究院的大力协助; 牛之珪副教授审阅全文, 在此一并致谢,

Drill Hole TEM Measurements in Some Mining Districts

Jiang Shenjun Chen Wei

Drill hole TEM surveys carried out in some mining districts in Jiangsu and Anhui Provinces have discovered four anomalies caused by blind orebodies at a depth about 400 m. From the study of decay curves of the secondary field and apparent time constant, and drill hole TEM profiles measured in different orientations, the electrical properties, locations and mode of occurrence for each conductor were obtained.