

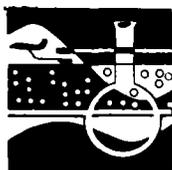
瞬变电磁法在深部找矿中的应用

虞景航

(新疆有色地质勘查局物探大队·乌鲁木齐)

瞬变电磁法在深部找矿中能发挥独特的作用:依据瞬变电磁异常圈定赋矿空间,指出硫化富矿的部位;电磁测深拟断面图能有效地反映出矿体的产状形态;应用时间常数和纵向电导值评定异常体的规模与质量,取得直接找矿效果。

关键词: 瞬变电磁法; 深部找矿



1987~1989年在阿尔泰山南缘多金属成矿带中的克因布拉克、铁木尔特和可可塔勒等矿床应用瞬变电磁法(TEM)开展了深部找矿工作。依据提供的资料,钻孔见矿率很高,使矿区工业储量成倍增长。使用的仪器为EM-37系统,测量参数为二次磁场的三个分量的变化率,即 $\frac{\partial B_x}{\partial t}$, $\frac{\partial B_y}{\partial t}$, $\frac{\partial P_z}{\partial t}$ (简写为 \dot{B}_x , \dot{B}_y , \dot{B}_z),通过运算可得判别参数:视纵向电导 S ;视时间常数 τ 与视电阻率 ρ_s ;EM-37系统时间测量范围从80 μ s至80ms,可选频率有2.5, 6.25和25Hz三种。每种频率有20个测量窗口(亦称测道)。根据工作需要装置排列,可采用框一回方式或中心回线方式(测深装置)。

矿区地质特征

可可塔勒,处于麦兹复式向斜南东端的北东翼。矿床产在下泥盆统结别特中亚组(D_{1j2})的一套熔岩、碎屑岩中。主要岩石为沉凝灰岩、角砾凝灰岩、凝灰质粉砂岩、钙质泥质粉砂岩夹不纯大理岩。铅锌矿体赋存在变质沉积凝灰岩(D_{1j2})中。

铅锌矿化带长4.2km,浅部矿体已氧化

成铁帽。矿化带中共有大小不等的铁帽体12个,单个铁帽体长140~700m,宽5~20m。测区氧化深度不大,原生矿体一般在10~20m以下出现。矿石中主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、硫锑银矿和少量黄铜矿。矿石构造呈致密块状、条带状、浸染状或细脉状。

块状矿石的电阻率在10 $\Omega \cdot m$ 以下,围岩电阻率则大于1000 $\Omega \cdot m$,铅锌矿体具有良好的导电性,是瞬变电磁法有利的勘探对象。

找矿效果

1. 圈定矿体平面位置,指出矿体赋存空间

在4km多长的矿化带上,常规物化探异常指示了矿区内铅锌矿体分布的大致部位。但是矿体往深部延伸如何,赋矿空间哪里最好,富矿在何处,是否存在新的、更好的富矿空间,这些都是找矿中最重要和亟待解决的地质问题。

工作成果表明,铅锌硫化富矿能引起瞬变电磁很强的异常响应。从早期至中、晚期各测道(框回装置)均出现清晰的异常,而且中、晚期电磁响应呈有规律的变化。瞬变电磁法在3.5km²范围内共发现三处异常,它们正好与三个成矿洼地对应。如图1所示, B_z 异常紧紧围绕矿体(群)分布,较好

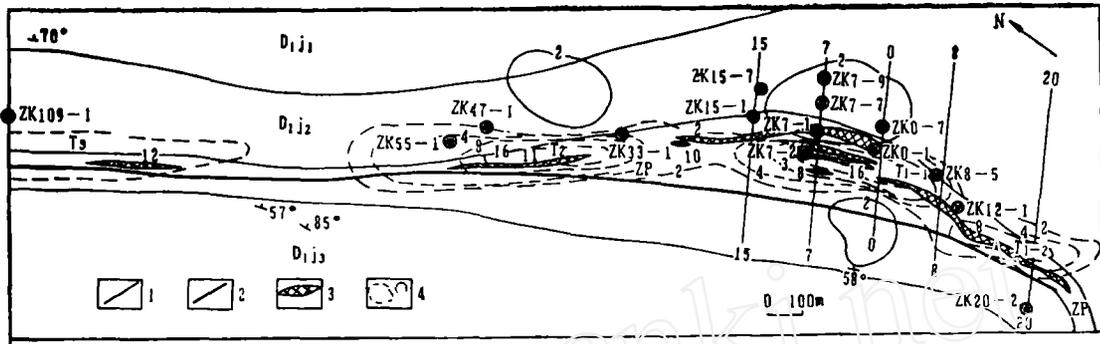


图 1 可可塔勒铅锌矿地质—物理综合图

1—地质界线；2—断层；3—矿体；4—15道 B_z 等值线 (nv/Am^2)； D_{1j_1} —结别特组下亚组之变质酸性火山岩； D_{1j_2} —结别特组中亚组之火山沉积碎屑岩； D_{1j_3} —结别特组上亚组之不纯大理岩夹钙质砂岩；ZP—含矿层，变沉凝灰岩； T_{1-1} —异常编号

地展示了铅锌硫化矿的赋存部位。

为研究铅锌矿体的空间分布状态，定性探讨铅锌矿体的规模和矿石质量，着重计算了异常体的视时间常数 τ 和视纵向电导 S 。由电磁理论可知， τ 和 S 是与导电体的矿物含量、规模和形状有关的。一般说， τ

和 S 值大，被探测的异常地质体导电性好，规模也大。图2是本区异常场与背景场电磁响应时间谱对比图。图中 T_1 、 T_2 、 T_3 三个异常的 τ 值分别为4.77ms，3.26ms，3.00ms，正常场 τ 值仅为0.21ms；纵向电导值依次为150、100和97.5S/m；第20测道的强度为12.2 nv/Am^2 ，3.04 nv/Am^2 和0.16 nv/Am^2 。

以上特征表明， T_1 异常对应的矿体最好， T_2 次之， T_3 较差。TEM异常揭示了三个成矿洼地中铅锌矿体的规模和质量（富矿比例）由北西向南东逐步变好。主矿体位于东段 T_1 异常区，即可可塔勒矿区东南部是寻找富厚矿体的主攻地段。经钻探查证， T_1 异常中心的7线300m深处发现厚百余米的高品位盲矿体，铅、锌品位 $>8\%$ 。

2. 判定矿体产状，指导钻探施工，发现新矿体

利用 B_z 曲线各道交零点位置的变化和正负极值的大小，或由 B_z 曲线正极值相对强弱判断异常体的产状。正演研究指出，垂直分量(B_z)各道交零点的位移随异常体的倾向变化， B_z 曲线交零点连线方向即为异常体的倾斜方向；利用 B_z 异常极值也可判断地质体的产状，则异常体倾向于|极值|大

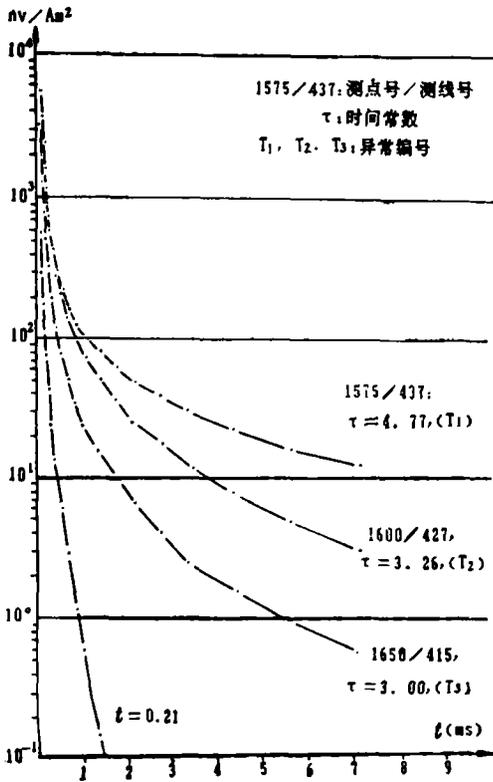


图 2 可可塔勒 B_z 时间谱对比图

的一方。若用水平分量来确定异常体产状时，则可依据负异常两侧正异常值的大小来确定，异常体往往倾向正极值大的一侧。

如果采用电磁测深装置进行测量时，即可利用断面电阻率等值线的形状直接推断出异常体的产状，异常体一般是向等值线缓的一方倾斜。在地电条件有利的情况下，据电阻率断面图还可判断出矿体的形态。

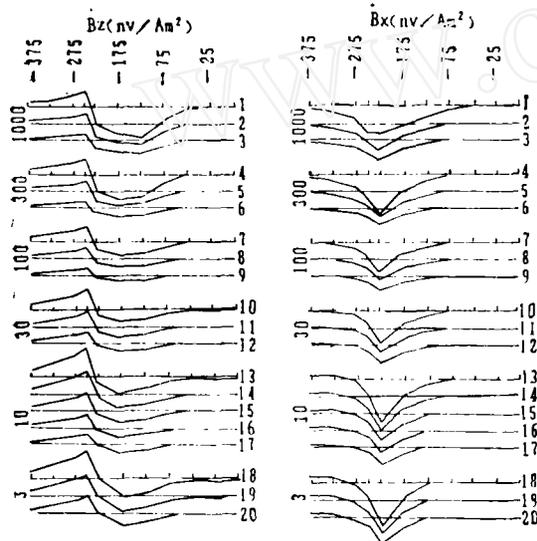


图3 3线瞬变电磁响应图

图3为3线瞬变电磁响应图。图中显示 B_z 早期异常曲线正负枝不对称，正极值 < 负极值。而至中晚期正负异常基本相当； B_z 曲线交零点位置早期明显地随着延时增大往大号点移动，中期后交零点位置位移变小至不再位移。瞬变电磁响应的上述变化表征矿体浅地表至一定深度范围内（100~150m），产状倾向东北；200m以下，矿体产状变陡，矿体分布在 B_z 曲线零点范围以内，或 B_z 曲线两外拐点之间。

在3号线共施工3个钻孔（图4），第1个ZK3-1孔，为验证井中充电法异常而打，孔深605m，未见矿。在此孔以北150m处，为ZK3-7孔，穿过6层小矿体。从图4可以

看出，TEM法异常处在ZK3-1与ZK3-7孔之间。在 B_z 零值点以内布置了ZK3-3

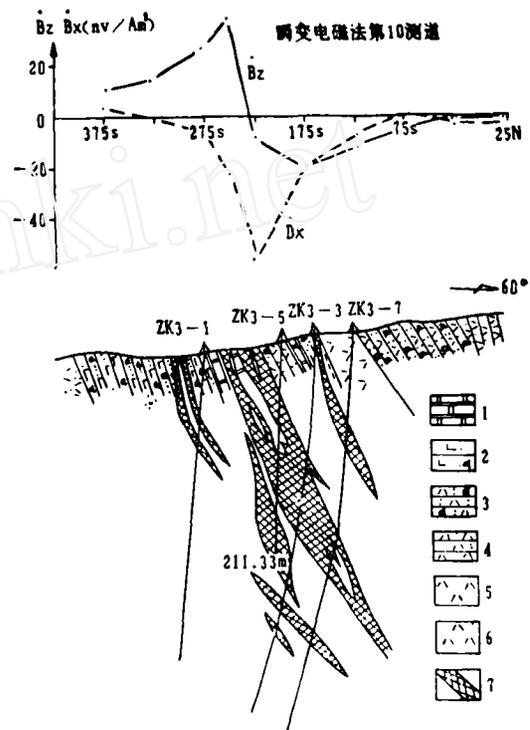


图4 3号线地质-物探综合图

1—不纯大理岩；2—变质钙质凝灰质粉砂岩；3—蚀变凝灰岩；4—变沉凝灰岩；5—变层凝灰岩；6—变酸性熔岩；7—变石英斑岩；8—铅锌矿体

孔，见到65m厚的富锌铅矿。接着又在 B_z 异常中心部位打了ZK3-5孔，见矿厚度达120.98m。

图5为20线电磁测深视电阻率断面图。地表矿化体和岩层产状倾向东北。为探索深部矿体规模，曾在矿化体东北侧布孔（ZK20-7），钻进380m没有见矿。电磁测深在200m深度以下出现一个规模可观的低阻异常。 ρ_s 为3~5 $\Omega \cdot m$ 。低值异常等值线上陡下缓，往南分布，预示地表北倾矿体往深部转向南倾，或深部存在新的盲矿体。为此设计了ZK20-2孔，于261m处见到18m厚的铅锌块状富矿，Pb+Zn品位高于12%，证实

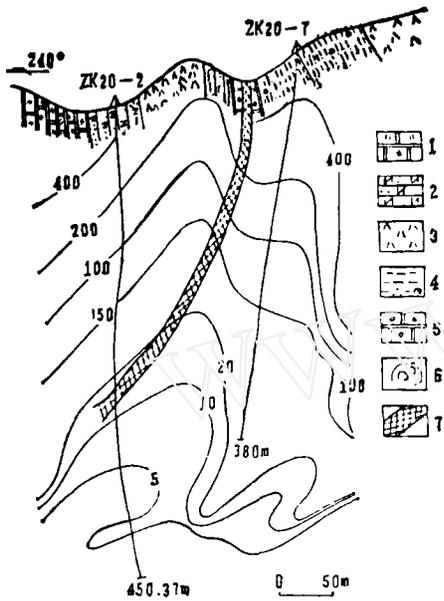


图5 20线电磁测深视电阻率断面图

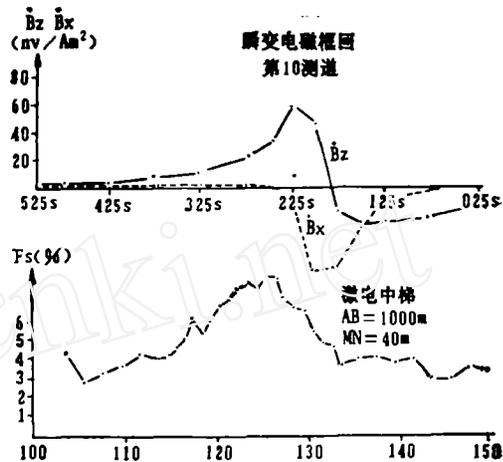
1—铁锰质大理岩；2—变长英质粉砂岩；3—变酸性熔岩；4—含石榴石黑云母石英变粒岩；5—褐铁矿大理岩；6—视电阻率等值线 ($\Omega \cdot m$)；7—铅锌矿体

TEM测深异常是由硫化矿体引起。

3. 电磁测深异常能反映矿体赋存形态

为寻找更大深度的地质目标，并研究地质体的赋存状态，测深装置是一种较理想的测量方式。根据施工条件及研究需要，安排剖面性或面积性观测。

图6是位于 T_1 异常区7号线的测深成果。如该图所示，矿体由多层组成，向北倾斜呈叠瓦式排列，300m深度以下出现富盲矿体，由于铅锌矿体中伴生大量的黄铁矿（含硫 $>10\%$ ），硫化物体宏观效应呈陡立状产出，电磁异常表现为柱状矿体的分布特征，图中激电异常出现在矿体群的头部上方。而电磁框回异常中心明显地往北偏移，反映深部的块状矿体。电磁测深视电阻率异常 $3\sim 5\Omega \cdot m$ 低阻等值线包住了盲富矿体。可以看出电阻率异常清楚地展示矿体群的分布，并指示了富矿赋存空间。与已知资料对



地质电磁测深视电阻率断面

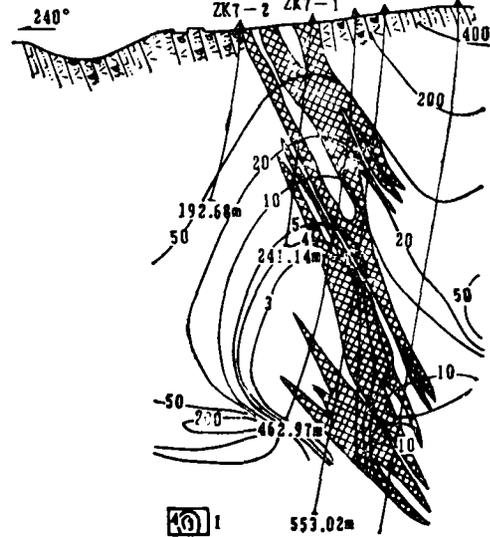


图6 7号线地质—物探综合图

1—TEM测深电阻等值线 ($\Omega \cdot m$)；(其余图例同图4)

比，在物性差异明显的情况下，电磁测深装置勘探深度可达500m。

图7是 T_1 异常区高、中、低3种频率(7.19、28.76和71.9ms)的电阻率平面图。从该图可看出良导体在不同平面上的变化状态。图中显示 T_1 异常区存在两个低阻中心 T_{1-1} 和 T_{1-2} 。 T_{1-1} 异常高、中频(图7之上、中)等值线基本相似。低频视电阻率等值线明显收缩(图7下)，变成西宽东窄，反

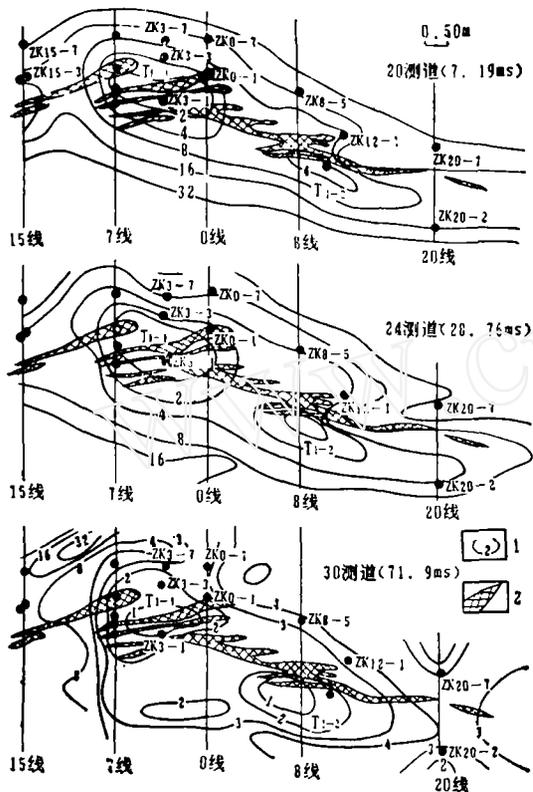


图7 T₁₋₂异常电磁测深不同测道视电阻率平面图

1—视电阻率等值线 ($\Omega \cdot m$); 2—铅锌矿体

映矿体的膨大部分在7线至3线, 0线附近规模变小。但需指出, 0线深部300m以上空间范围内, 仍有矿体存在, 只是产状变陡或向南陡倾。ZK0—1, ZK0—7两孔未能控制, 可在矿体的南侧布置钻孔。

T₁₋₂异常深部电磁响应很强, 低频异常的范围大于高频, 反映深部矿质较好。指示8线附近有1个新的柱状富矿体。研究断面等值线资料, 认为T₁₋₂异常对应的矿体产状是向南西倾斜, 与T₁₋₁异常反映的矿体倾向相反。这种推测已得到ZK20—2和ZK10—1两孔的验证属实。4号矿体深部确向南西倾; 8号剖面的工程验证正在进行。

电磁测深投入前, 普遍认为主矿体产状倾向北东。在8线和12线北侧施工的ZK8—5和ZK12—1两孔深部未见矿的情况下, 又

提出矿体可能是由南东往北西侧伏、主矿体仅存在于0线以西的设想。而电磁测深资料清晰地揭示了主矿体不但赋存于0线以西(T₁₋₁异常), 而且扩展到0线以东的T₁₋₂异常区。这就提出了新的找矿方向, 并得到充分证实, 从而使铅锌储量倍增, 目前已发展成为一个大型矿床。

根据TEM异常的展布特征, 结合钻探揭露的地质情况, 笔者认为可可塔勒主矿区的富矿, 西自15线起, 往东经0线、8线到24线, 总长约1000m, 厚约10~100m。矿体群形态复杂, 走向上总体呈“弓”形排列, 倾向上表现为叠瓦式, 矿体(群)产状自西向东由倾向北东逐步转向南西, 在详细勘探工作中, 应充分利用电磁法的成果。

结 语

瞬变电磁法在普查时可采用框回装置。这种装置工效高, 一般采用高频(25Hz)观测, 探测深度200~300m。在寻找深部盲矿时, 可采用测深装置。由于穿透低阻覆盖层的能力强, 因而能在更深的范围内探测良导性矿产。从目前资料看, 测深装置探深可达500m。

TEM异常可指示赋矿空间, 还可利用断面电阻率等值线的展布确定异常体的产状和形态, 有利于指导钻探施工。

TEM法直接测量二次磁场的信号, 相对而言, 所受干扰较少, 近地表不均匀性的影响, 在中、晚期信号中反映十分微弱。从几个矿区的工作成果来看, 在野外条件下, 用此法尚难区分硫化物或石墨化岩层引起的异常。是否可用衰减特征的差异来判别, 尚在试验中。

瞬变电磁法在可可塔勒矿区的找矿工作中发挥了很好的作用, 取得了明显的地质效果 and 经济效益, 指出了该区的找矿方向, 扩大了矿床的远景。