第 27 卷 第8期 地质与勘探 Vol. 27, No. 8
1991 年 8 月 GEOLOGY AND PROSPECTING August, 1991

瞬变电磁法在深部找矿中的应用

虞景毓
（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$\tau$与视电阻率$\rho_s$；EM-37系统时间测量范围从80 μs至80 ms，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_1j_2）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（$D_1j_2^2$）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140～700 m，宽5～20 m。测区氧化深度不大，原生矿体一般在10～20 m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10Ω·m以下，围岩电阻率则大于1000Ω·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，$\dot{B}_x$异常紧紧围绕矿体（群）分布，较好

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

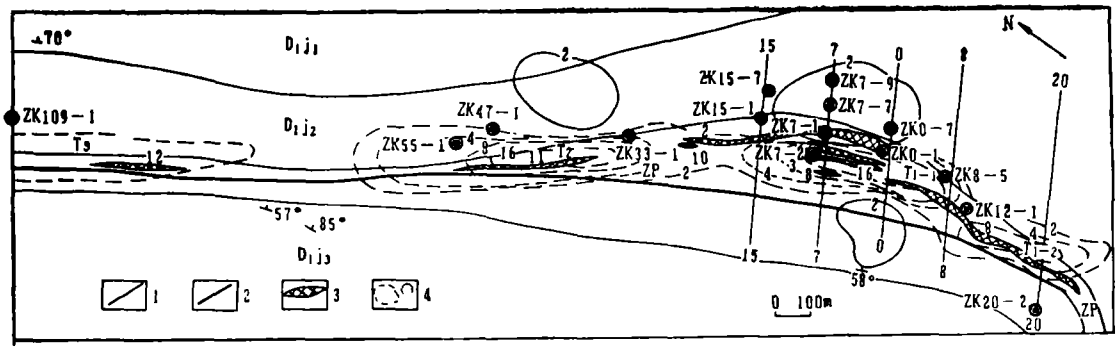


图 1 可可塔勒铅锌矿地质—物探综合图

1—地质界线；2—断层；3—矿体；4—15道$\dot{B}_z$ 等值线（nv/Am²）；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，定性地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12.2nv/Am²，3.04nv/Am²和0.16nv/Am²。

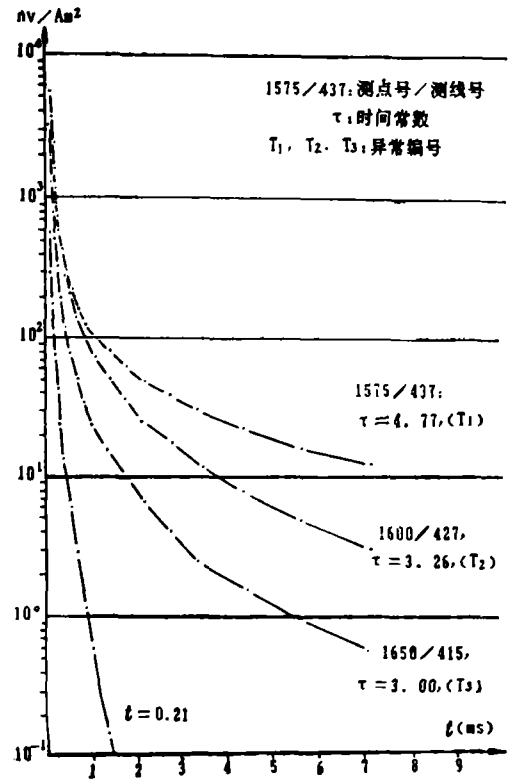


图 2 可可勒矿$\dot{B}_z$时间谱线对比图

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$\dot{B}_z$曲线各道交零点位置的变化和正负极值的大小，或由$\dot{B}_z$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（$\dot{B}_z$）各道交零点的位移随异常体的倾向变化，$\dot{B}_z$曲线交零点连线方向即为异常体的倾斜方向；利用$\dot{B}_z$异常极值也可判断地质体的产状，则异常体倾向于|极值|大

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

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。

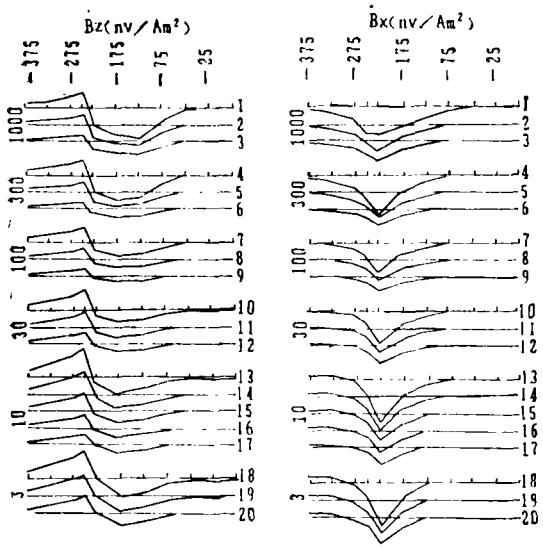


图 3　3线瞬变电磁响应图

图3为3线瞬变电磁响应图。图中显示$\dot{B}_z$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；$\dot{B}_z$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（100～150 m），产状倾向北东；200 m以下，矿体产状变陡，矿体分布在$\dot{B}_z$曲线零点范围以内，或$\dot{B}_z$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605 m，未见矿。在此孔以北150 m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$\dot{B}_x$零值点以内布置了ZK3—3孔，见到65 m厚的富锌铅矿。接着又在$\dot{B}_x$异常中心部位打了ZK3—5孔，见矿厚度达120.98 m。

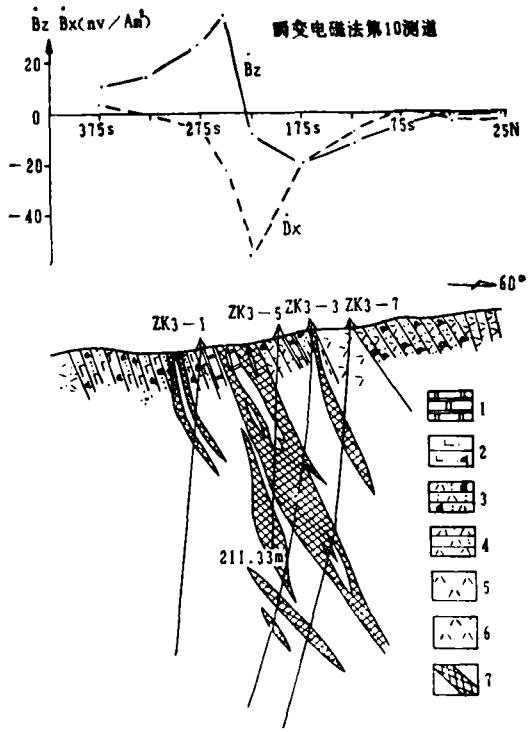


图 4　3号线地质—物探综合图

1—不纯大理岩；2—变钙质凝灰质粉砂岩；3—蚀变沉凝灰岩；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

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北东。为探索深部矿体规模，曾在矿化体北东侧布孔（ZK20—7），钻进380 m没有见矿。电磁测深在200 m深度以下出现一个规模可观的低阻异常。ρ_s为3～5 Ω·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261 m处见到18 m厚的铅锌块状富矿，Pb＋Zn品位高于12%，证实

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

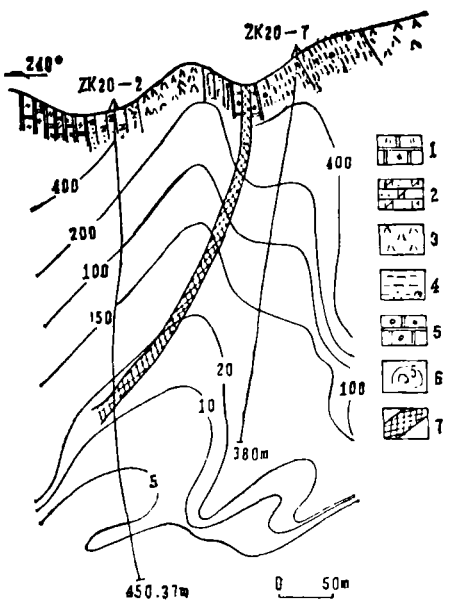


图 5 20线电磁测深视电阻率断面图

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（Ω·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3～5Ω·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

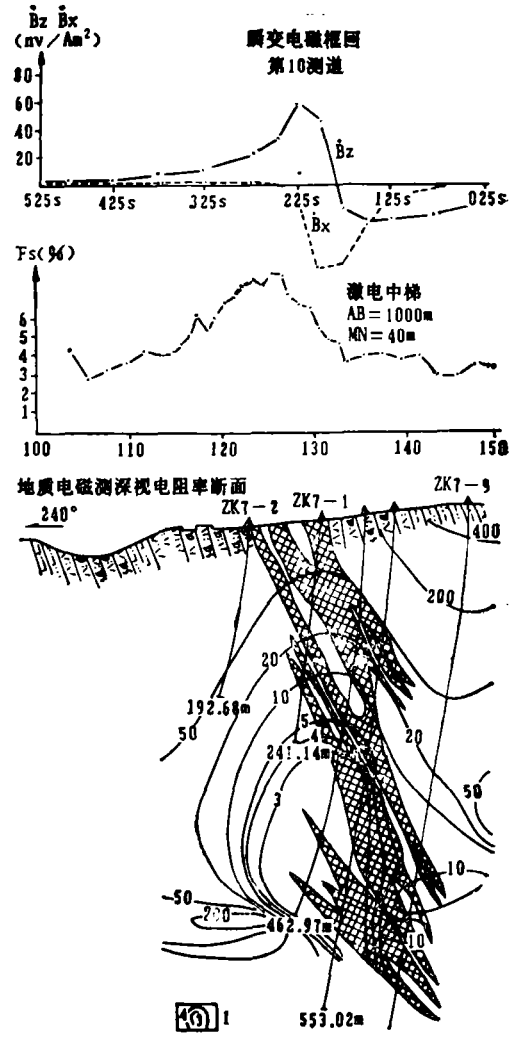


图 6 7号线地质—物探综合图

1—TEM测深电阻等值线（Ω·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

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

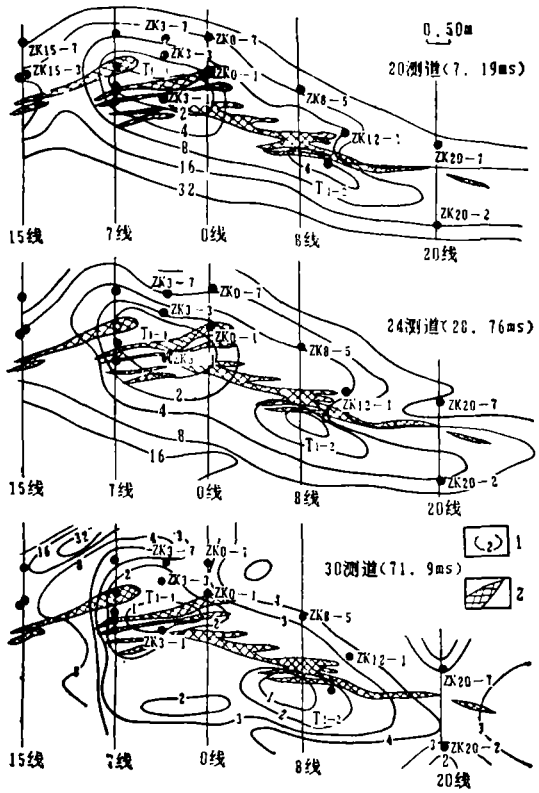


图 7 T_1异常电磁测深不同测道视电阻率平面图

1—视电阻率等值线（Ω·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。

T_{1-2}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T_{1-2}异常对应的矿体产状是向南西倾斜，与T_{1-1}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（T_{1-1}异常），而且扩展到0线以东的T_{1-2}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，往东径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和经济效益，指出了该区的找矿方向，扩大了矿床的远景。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net