

[3] 吴精适等, 平桂锡矿矿床地质特征及控矿条件, 广西冶金地质(内部), 1981

[4] 尹全七, 广西及其邻区锡矿床分布特征与找矿方向探讨, 桂林冶金地质学院学报, 1981年第4期

[5] 张相训, 从隆起带和褶皱构造看广西主要构造体系的构造型式兼论其对锡矿床的控矿规律, 广西地质学会论文集(内部), 1980

层控条件下钻孔岩矿芯标本磁参数的矢量测量

内蒙冶金地质三队 乔占海

目前, 磁参数值主要是通过地面标本和钻孔中岩矿芯标本测得的, 但钻孔岩矿芯只能进行标量测定。当 $J_x \neq J_z$, 用地面标本无法获得 J_x 的方向参量 θ_r 、 φ_r , 这将直接影响磁异常推断解释的结果。现就能否对钻孔岩矿芯进行矢量测定讨论如下。

公 式 推 导

钻孔岩矿芯标本磁参数矢量测量的关键是标本是否定向。

对层控条件下的钻孔岩矿芯进行大量观察表明, 岩矿芯上均有明显的岩层层理面轨迹。沿层面做岩矿芯断面, 此断面在岩矿芯圆柱体外侧是一椭圆。椭圆的空间位置, 受岩层和钻头平面的接触状态控制, 我们称此椭圆为特征椭圆(图1)。

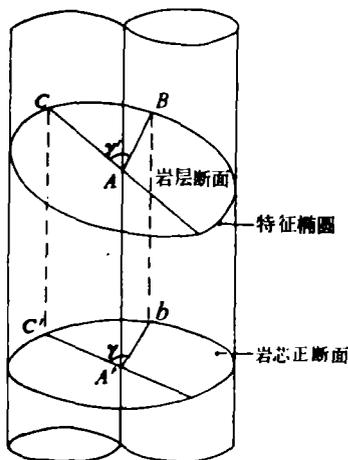


图1 岩芯断面示意图

为了求得其数学表达式, 特建立图2所示坐标系; 利用矢量运算方法研究其数量关系。坐标系中岩层与钻头平面为任意状态。钻头平面最先与岩层层面接触的特征椭圆的上顶点, 最后接触于同一层面的点是特征椭圆的下顶点。用矢量表示图2中有关的量: 特征椭圆的长轴用 \vec{AC} 表示, \vec{AC} 在岩芯正断面上的投影用 $\vec{A'C'}$ 表示, $\vec{A'C'}$ 是 u 、 v 、 α 等角度的函数, 可写成 $\vec{A'C'} = f(u, v, \alpha)$ 的函数形式。考虑到定向后测试与坐标变换的方便, 应在岩矿芯标本上找到 $\vec{A'C'}$ 与 $\vec{A'b}$ 的位

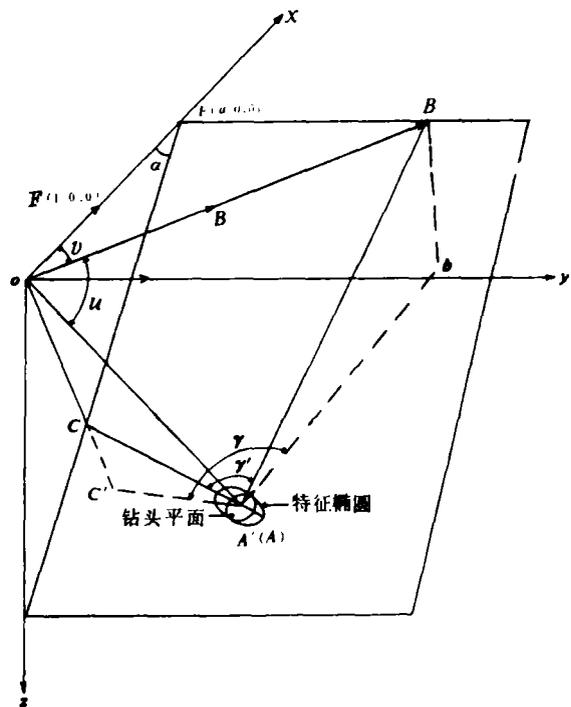


图2 钻头平面与岩层层面的接触关系图

置。 $A'C'$ 可通过特征椭圆上顶点找到 C 及其在岩芯正断面的投影点 C' ，从正断面的圆心 A' 点连接 C' 点就是 $A'C'$ 的位置。由图2可见从 $A'C'$ 量 γ 角便是 $A'b$ 的位置，为此特做求解 γ 角的数学推导如下：

$$\vec{OB} = a \cdot \vec{i} + a \cdot \operatorname{tg} v \cdot \vec{j}, \quad \vec{OB}' = \vec{i} + \operatorname{tg} v \vec{j}, \quad \vec{OB}' \parallel \vec{OB},$$

$$\vec{OA}^0 = \cos u \cdot \cos v \cdot \vec{i} + \cos u \cdot \sin v \cdot \vec{j} + \sin u \cdot \vec{k}$$

平面 OAB 的法向量记为 \vec{n}_1 , $\vec{n}_1 = \vec{OA}^0 \times \vec{OB}'$

$$\vec{n}_1 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos u \cdot \cos v & \cos u \cdot \sin v & \sin u \\ 1 & \operatorname{tg} v & 0 \end{vmatrix} = -\operatorname{tg} v \cdot \sin u \cdot \vec{i} + \sin u \cdot \vec{j}$$

$$\vec{n}_1' = -\operatorname{tg} v \cdot \vec{i} + \vec{j}, \quad \vec{n}_1' \parallel \vec{n}_1 \quad (\vec{n}_1' \text{为平行于} \vec{n}_1 \text{的一个简单矢量})$$

岩层层面的法向量记为 \vec{n}_2 , $\vec{n}_2 = \sin \alpha \cdot \vec{i} + \cos \alpha \cdot \vec{k}$

平面 OAC 的法向量记为 \vec{n}_3 , $\vec{n}_3 = \vec{OA}^0 \times \vec{n}_2$

$$\vec{n}_3 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos u \cdot \cos v & \cos u \cdot \sin v & \sin u \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{vmatrix}$$

$$= \cos u \cdot \cos \alpha \cdot \sin v \cdot \vec{i} + (\sin u \cdot \sin \alpha - \cos u \cdot \cos \alpha \cdot \cos v) \vec{j} - \cos u \cdot \sin v \cdot \sin \alpha \cdot \vec{k}$$

$$\cos \gamma = \cos (\vec{n}_1' \vec{n}_3), \quad \cos \gamma = \frac{\vec{n}_1' \cdot \vec{n}_3}{|\vec{n}_1'| \cdot |\vec{n}_3|} \quad \text{经计算整理:}$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{\sin \alpha \cdot \sin u \cdot \cos v - \cos u \cdot \cos \alpha}{\sqrt{(\cos u \cdot \sin v)^2 + (\sin u \cdot \sin \alpha - \cos u \cdot \cos \alpha \cdot \cos v)^2}} \quad (1)$$

$$\gamma' = \cos^{-1} \frac{\sin \alpha \cdot \sin u \cdot \cos v - \cos u \cdot \cos \alpha}{\sqrt{(\cos u \cdot \sin v)^2 + (\sin u \cdot \sin \alpha - \cos u \cdot \cos \alpha \cdot \cos v)^2} \sqrt{\cos^2 v + (\sin v \cdot \cos \alpha)^2}} \quad (2)$$

当定向是在岩芯正断面上进行时，使用公式(1)，如果定向是在特征椭圆所在的层面上进行时则使用公式(2)。公式(1)、(2)代入特殊

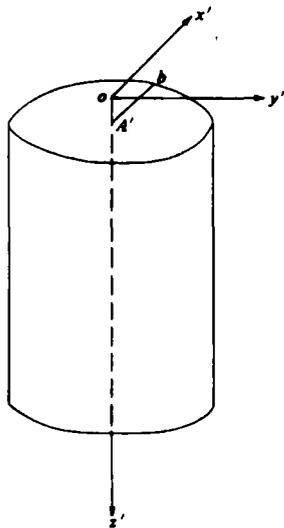


图3 岩矿芯在实测坐标系中的位置图

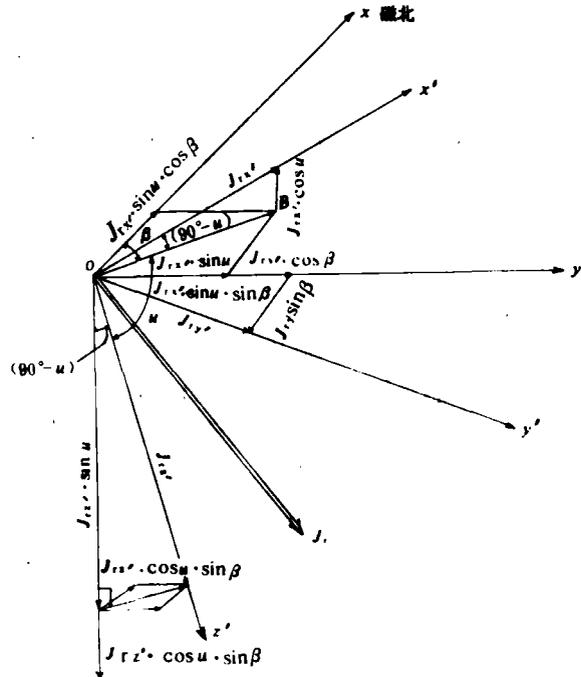


图4 理论坐标与实测坐标关系图

角检验都能成立,其所需角度值 u 、 v 、 α 从钻孔测斜资料中可以获得,因此公式 (1)、(2) 普遍适用。

对岩矿芯标本进行实测时,选取图 3 所示的坐标,要使 ox' 轴平行于 $A'b$, oz' 轴平行于圆柱轴线,我们称此坐标系为实测坐标系。

在 x' 、 y' 、 z' 坐标系中可测得读数 $(n_1 \cdots n_6)$,磁参数 κ 、 J_r 的数值可通过公式计算后得到(见有关磁法教科书),求 J_r 方向参量 θ_r 、 φ_r 时,需以磁北为 x 轴的坐标系来表示,称此坐标系为理论坐标系,两坐标系的关系如图 4 所示。

β —— OB 与磁北的夹角

u —— 钻孔轴线的倾角

(x 、 y 、 y' 在同一水平面内; x' 、 z' 、 z 在同一铅垂面内)

根据两坐标系的关系,进行坐标变换,将 x' 、 y' 、 z' 轴上 J_r 的分量 $J_{rx'}$ 、 $J_{ry'}$ 、 $J_{rz'}$ 分别投影到 x 、 y 、 z 轴上,得到计算 θ_r 、 φ_r 时必需的三个矢量 J_{rx} 、 J_{ry} 、 J_{rz} 。

$$J_{rx} = J_{rx'} \cdot \cos \beta \cdot \sin u + J_{rz'} \cdot \cos u \cdot \cos \beta - J_{ry'} \cdot \sin \beta$$

$$J_{ry} = J_{ry'} \cdot \cos \beta + J_{rx'} \cdot \sin u \cdot \sin \beta + J_{rz'} \cdot \cos u \cdot \sin \beta$$

$$J_{rz} = J_{rz'} \cdot \sin u - J_{rx'} \cdot \cos u$$

J_r 的方向参量倾角和偏角用下式表示:

$$\theta_r = \operatorname{tg}^{-1} \frac{J_{rz}}{\sqrt{J_{rx}^2 + J_{ry}^2}}, \quad \varphi_r = \operatorname{tg}^{-1} \frac{J_{ry}}{J_{rx}}$$

在高斯第二位置测量时:

$$\theta_r = \operatorname{tg}^{-1} \frac{(n_6 - n_5) \cdot \sin u - (n_2 - n_1) \cdot \cos u}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (3)$$

式中: $A = (n_2 - n_1) \cdot \sin u \cdot \cos \beta + (n_6 - n_5) \cdot \cos u \cdot \cos \beta - (n_4 - n_3) \cdot \sin \beta$
 $B = (n_4 - n_3) \cdot \cos \beta + (n_2 - n_1) \cdot \sin \beta + (n_6 - n_5) \cdot \sin \beta \cdot \cos u$

$$\varphi_r = \operatorname{tg}^{-1} \frac{(n_4 - n_3) \cdot \cos \beta + (n_2 - n_1) \cdot \sin u \cdot \sin \beta + (n_6 - n_5) \cdot \cos u \cdot \sin \beta}{(n_2 - n_1) \cdot \cos \beta \cdot \sin u + (n_6 - n_5) \cdot \cos u \cdot \cos \beta - (n_4 - n_3) \cdot \sin \beta} \quad (4)$$

如果标本采用高斯第一位置测定时, θ_r 、 φ_r 的计算,可将公式 (3)、(4) 中的 $(n_2 - n_1)$ 换成 $(n_1 - n_2)$, $(n_4 - n_3)$ 换成 $(n_3 - n_4)$, $(n_6 - n_5)$ 换成 $(n_5 - n_6)$ 就可以了。

方 法 步 骤

1. 根据钻孔测斜资料中 u 、 v 、 α 等状态参数,使用公式 (1) 或 (2) 计算出 γ 及 γ' 角。
2. 将岩矿芯标本切削成符合测定要求的圆柱体,根据层面轨迹找出特征椭圆的上顶点,过上顶点做平行于岩芯轴线的线段,找出图 1 中 C' 点,从柱顶面的圆心连 $A'C'$ 。
3. 使用计算出的 γ 角,从 $A'C'$ 按坐标方向量取 γ 角便是 $A'b$ 的位置。
4. 将实测坐标的 ox' 轴平行于岩芯标本上 $A'b$, 圆柱体轴线平行于 oz' 轴,按定向标本测量要求的读数(标本原上下端不得放错)。
5. 根据计算磁参数 κ 、 J_r 标量公式计算其数值,用公式 (3)、(4) 计算出 J_r 的方向参量倾角 (θ_r)、偏角 (φ_r)。

实 测 结 果

对计算 γ' 角的公式 (2),选取不同状态参数 u 、 v 、 α 进行了多次实验,量取的 γ' 与计算的 γ' 误差

只有 $\pm 10'$, 可见公式 (1)、(2) 正确。

采用前述方法对 CK5、CK6、ZK1 三个钻孔岩芯标本作了矢量测定。前两孔在一条勘探线上，钻孔倾向相反 (图 5)。实测 CK5 岩芯标本 34 块，CK6 孔 38 块，两孔属同一地层，岩性同为炭质片岩，合并统计，得 $\kappa = 2550 \times 10^6 \text{CGSM}$, $J_r = 2880 \times 10^6 \text{CGSM}$, J_r 的方向参量 θ 、 φ 见图 6、图 7。用此法实测的磁参数进行了磁异常曲线的正演计算，理论曲线与实测曲线拟合很好 (见图 5)。

ZK1 孔距 CK5、CK6 孔约 3.5 公里，按前述方法测定岩芯标本 62 块，发现 κ 、 J_r 值变化均很大， J_r 的方向参量 θ 和 φ 见图 8、图 9。使用测得的磁参数对磁异常曲线进行了正演计算 (图 10)。

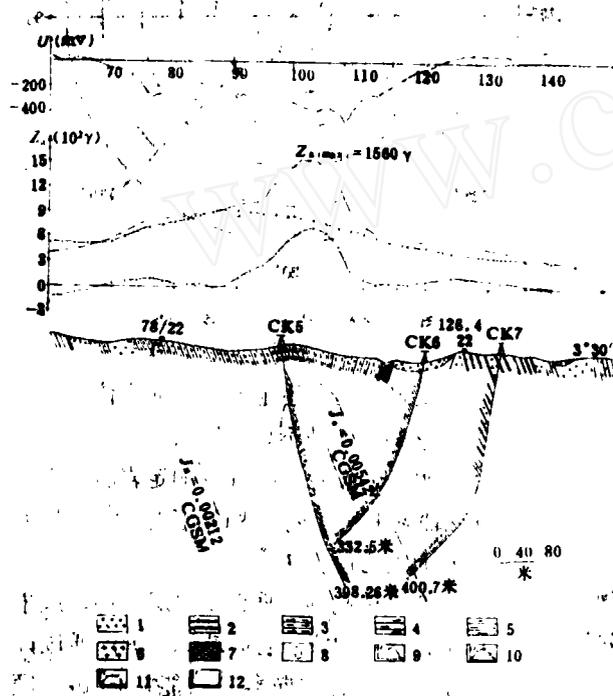


图 5 22 线地质物探综合剖面图

1—第四纪坡积物；2—石英岩；3—石柱石炭质片岩；4—炭质石英岩；5—黑云母石英片岩；6—花岗岩；7—铁帽；8—推断磁性体；9—实测 Z_n 曲线；10—区域场异常曲线；11—局部场异常曲线；12—正演理论曲线

从 CK5、CK6、ZK1 三个钻孔岩芯磁参数矢量测定的结果来看，测区内 J_r 的倾角比较稳定， J_r 有顺岩层层理分布的特征，这将对本测区矿床的成因解释提供一定的依据。

应用条件及有关问题

岩矿芯标本磁参数矢量的测定，应具备下列条件：

1. 岩矿芯标本上具有能分辨的层理痕迹，标本的磁场能被所使用的仪器测量。
2. 具有可资利用的钻孔测斜资料。

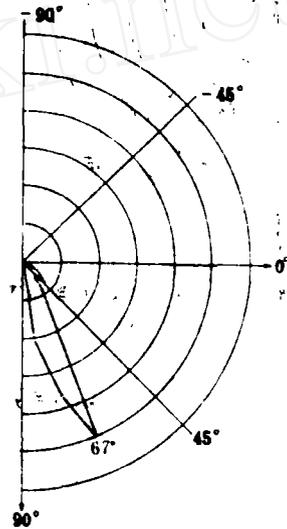


图 6 CK5、CK6 孔岩芯 J_r 玫瑰图 (72 块)

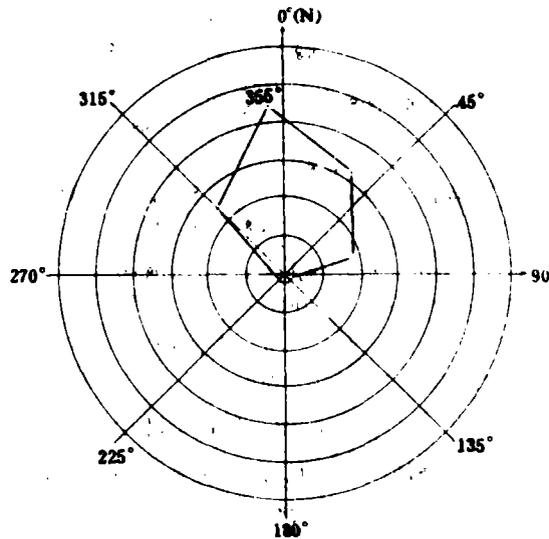


图 7 CK5、CK6 孔岩芯 J_r 玫瑰图 (72 块)

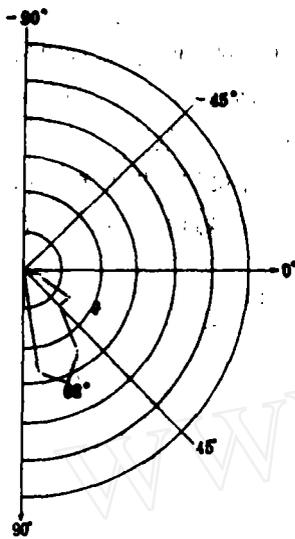


图8 ZK 1孔岩芯 θ 玫瑰图 (59块)

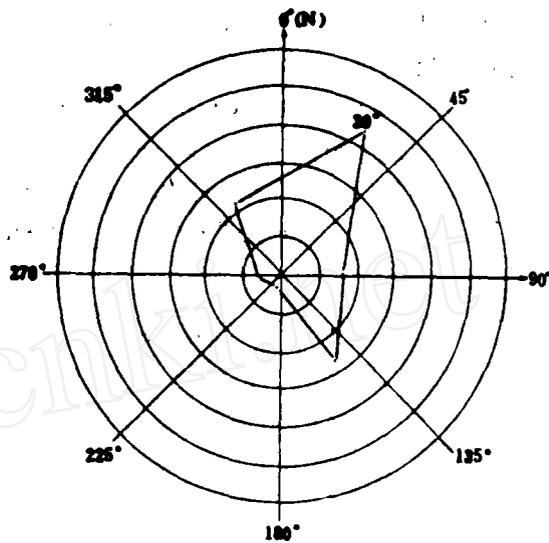


图9 ZK 1孔岩芯 ϕ 玫瑰图 (59块)

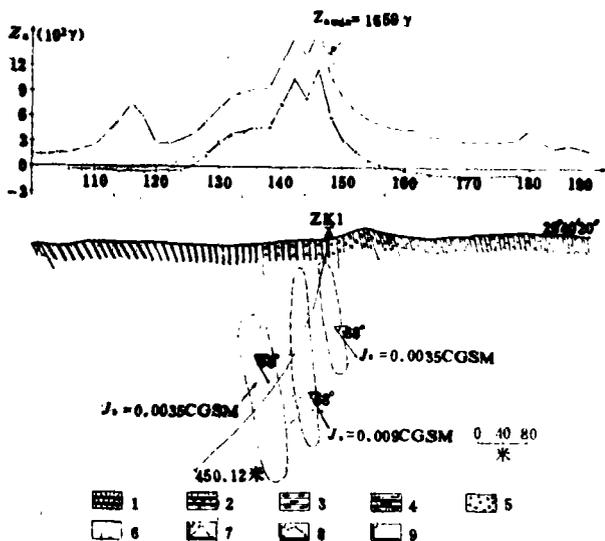


图10 28号线地质物探综合剖面图

1—石英岩; 2—石英岩与角闪岩互层; 3—炭质片岩; 4—黑云母石英片岩; 5—断层角砾; 6—推断磁性体; 7—实测 Z_0 曲线; 8—局部异常曲线; 9—正演理论曲线

(2) 跨层的岩矿芯应根据钻孔中所见岩层的上下层位关系去确定其上下端。

(3) 岩矿芯有明显大小头者, 小头为上端。

*

*

*

本文是在中南矿冶学院黎超群老师的启发下写成的, 内蒙古工业学院赵光前老师帮助推导了 γ' 角的计算公式; 我队史福同志参加了标本测试与统计工作, 钱定山、徐学刚两同志给予了大力支持和鼓励, 在此一并致谢。

3. 已知岩层的走向或倾向方位。

这些条件是不难满足的。

当 $\nu = \rho$ 时, $\gamma = 0$, 测定岩芯标本时 ox' 轴应平行于特征椭圆长轴 AC 在岩芯正断面上的投影 $A'C'$ 。

如果钻孔轴线垂直于岩层层面, 或平行于岩层倾向线, 岩矿芯标本无法通过计算定向, J 的方向参量只能取得 θ (倾角) 一个量。

岩矿芯圆柱上下端的位置一般是按原来的顺序放置的, 若弄错了, 可参考下述方法识别。

(1) 钻头在切削岩芯时是顺时针方向进行的, 因此留在岩芯外侧的刻痕有一定规律: 这些刻痕有点象鱼鳞坑, 由坑大一侧到坑小端是顺时针方向的。此时, 标本上端即为原来的上端, 否则, 应将岩芯调头。

- [1] 欧阳学, 1981, 物探与化探, 第2期
 [2] 清华大学数学教研组, 1964, 《高等数学(基础部分)》下册。

激发极化法在内蒙古西部寻找铜矿中的应用

内蒙冶金地质三队 张立成

内蒙西部某矿区, 早在七十年代即已进行过勘探, 认为是一个以铜为主的铜、铁综合矿床。勘探前, 曾投入磁法、化探和激发极化等工作, 都取得了较好的地质效果。磁法和化探在接触带上有明显而不连续的异常反应: 激电中间梯度法获得规模大、形状规则的异常, 地质效果尤为突出。这些异常已为深部工程证实, 认为激发极化法无论在普查阶段, 还是在勘探阶段都起到了应有的作用。

本文主要介绍激发极化法的应用效果。

地质概况及地球物理特征

1. 地质概况 矿区内出露的地层主要为震旦系, 其凹陷处见有侏罗系。

震旦系有: 千枚状钙质片岩夹大理岩(Z_1^1M)和互层状大理岩(Z_2^1M), 分布在向斜两翼及深部, 与火成岩接触蚀变成绿泥石和蛇纹石, 是铜矿的主要围岩; 厚层状白云质大理岩(Z_3^1M), 分布在测区中部, 构成向斜的核部, 与火成岩接触容易发生交代作用而成矿; 还有薄层状大理岩(Z_4^1M)。侏罗系为一套陆相沉积岩系, 由砂砾岩及砂岩组成。

矿区主要构造为一向斜和北东向(F_1, F_2)与北西向(F_3, F_4, F_7)两组断层, 其次为后期东西向(F_8)断层。向斜的轴向呈 $NE40\sim45^\circ$ 方向, 为花岗闪长岩所包围, 西部扬起并被 F_8 切断, 使花岗闪长岩掩覆其上, 东部被 F_3, F_4, F_7 断层错断, 其底部及两翼与火成岩接触形成封闭式接触构造。厚层状白云质大理岩组成向斜的核部, 犹如一支小船沉没在花岗闪长岩之中, 即所谓的“船

形”捕虏体。在测区西南部花岗闪长岩体沿断层(F_1)贯入, 形成对成矿有利的超覆接触构造。

火成岩广泛发育, 中、酸性侵入岩为华力西期的产物, 主要为花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩。此外尚有火山岩出露, 为变质石英砂岩(Q_1)。矿体主要赋存在中、酸性侵入体与厚层状白云质大理岩接触带中或白云质大理岩捕虏体内。金属矿物主要为黄铜矿和磁铁矿。

2. 地球物理特征 电参数测定结果以含铜磁铁矿石的极化率最高, 可达60%, 含铜夕卡岩矿石为13%, 黄铁矿化角岩为10%。大理岩、灰岩、角岩和花岗岩一般为1.3~2.4%。可见矿石极化率比围岩高5~25倍。黄铁矿化角岩极化率也较高, 形成一种干扰, 但这种异常大多呈大片出现, 结合地质条件和其它物、化探方法进行综合解释是可以区分的。

激电异常的地质解释及应用效果

利用激电中梯法扫面积, 获得两个异常(图1), 编号为IP-1和IP-2。IP-1异常位于测区西南角的接触带上, 在异常中心出露有含铜夕卡岩; 其走向与接触带方向一致, 即 $NE40^\circ$, 异常形状规则, 最大强度为3.6%, 规模不大, $\eta_s = 3\%$ 等值线圈出的范围, 长为240米, 宽60米; IP-2异常位于向斜接触带上, 与形似“船形”的捕虏体极为相似; 捕虏体周边部的接触带上有含铜夕卡岩与铜、铁矿体或矿化, 但不连续。仔细分析该异常有以下特点: (1) 虽然异常形态与捕虏体形状颇为相似, 但在异常的西南部位, η_s 曲线有凸出或凹进(远离接触带)的扭曲现象,