

甚低频在哈尔楚鲁图银-多金属矿隐伏矿体 定位预测中的应用*

The application of VLF-EM to the prognosis of concealed ore bodies in the Haerchulutu Ag-polymetallic ore deposit

张寿庭¹, 万志民^{2,3}, 李永兵², 许良⁴, 于国华⁴

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中科院地质与地球物理研究所, 北京 100101; 3 白音诺尔铅锌矿, 内蒙古 赤峰 025473;
4 金星矿业有限责任公司, 内蒙古 赤峰 024000)

ZHANG ShouTing¹, WAN ZhiMin^{2,3}, LI YongBing², XU Liang⁴ and YU GuoHua⁴

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100101, China;
3 Baiyinnuoer Lead-Zinc Mine, Chifeng 025473, Inner Mongolia, China; 4 Jinxing Mining Ltd. Company, Chifeng 024000,
Inner Mongolia, China)

摘 要 文章以哈尔楚鲁图银-多金属矿为例, 阐述了甚低频电磁法在覆盖区控矿构造特征分析与隐伏矿体预测研究中的应用。研究表明, 矿区构造矿化带方向以 NNW 和 NWW 向为主; NNW 和 NWW 两方向断裂构成菱形网格状控矿构造基本格局, 构造复合控矿特征明显, 两者交汇地段应是膨大矿体的找矿有利部位。

关键词 覆盖区; 控矿构造格局; 隐伏矿体预测; 甚低频电磁测量

1 甚低频方法概述

甚低频电磁法 (VLF-EM) 是近 30 余年发展起来的一种电磁波法; 利用世界上海军用通讯台或导航台发射的 15-25 kHz 波段的无线电波作场源 (属于被动源电磁感应法), 在地表、空中或地下探测场的参数变化下, 从而获得电性局部差异或地下构造的异常信息。该方法在矿床勘探和地质填图中广泛应用。多年来的应用实践表明: 该方法在地质-矿产勘查工作, 尤其是对浅层隐伏金属矿化低阻带、构造破碎带及含水断裂裂隙带的探测等方面, 具有轻便、快速、高效的技术优势。在以往的找矿勘探实践中, 甚低频电磁法应用已有众多的成功实例 (Palaoky, 1982; 史保连等, 1986; Robert, et al., 1995; Roger et al., 1995; 白大明等, 1998; 张寿庭等, 1999)。

甚低频电磁法既可利用磁分量测量 (磁倾角法), 也可利用电分量测量 (电阻率法或波阻抗法)。前者基于电磁感应原理, 后者与电磁波传播特性和大地电性有关。

2 矿区地质与地球物理应用前提

2.1 矿区地质概况

矿区位于内蒙古华力西晚期褶皱带黄岗梁复式背斜北西翼, 甘珠尔庙—黄岗梁北西向成矿带的西北侧, 沙布楞山—道伦大坝—哈尔楚鲁图成矿亚带的南西端。

矿区范围内地层发育较单一, 大面积被第四系残坡积物和风成沙覆盖, 仅于矿区南部出露第四系更新统阿巴嘎组地层, 岩性为辉石橄榄玄武岩, 覆盖于华力西期闪长岩之上。

研究区域岩浆活动强烈, 矿区内发育的岩浆岩主要有华力西期的闪长岩 (δ_4^1) 和燕山期的黑云母二长花岗岩 ($\eta\gamma_5^{2-2}$),

*本文得到中国科学院地质与地球物理所矿产资源研究重点实验室开放基金、教育部重点项目 (104037)、国土资源部地质调查项目 (200420190003) 及内蒙古地质勘查重大科研项目 (200405) 的联合资助
第一作者简介 张寿庭, 男, 1964 年生, 博士, 教授, 主要从事矿产资源勘查与评价等方面教研工作。

以及部分基性、中酸性脉岩。其中,华力西期闪长岩呈岩基产出,是本区的主要赋矿围岩。

矿区位于巴音查干—乃日本都勒北东向断裂与吉林郭勒河北西向断裂的交汇部位,不同方向断裂构造发育,控矿特征明显。按断裂展布方向,主要有 3 组:北西向、北东向和近南北向。其中,北西向和近南北向断裂为控矿构造,矿区已知矿脉均产于上述构造中。而北东向断裂构造形成较晚,为成矿后构造,对矿脉起破坏作用,往往横切或斜切矿脉。

2.2 甚低频应用的地球物理前提分析

甚低频电磁法在研究区应用,具备良好的地质地球物理前提:

(1) 测区位于中国北方少雨干旱、沙化较严重的地区。从测区实际情况分析,覆盖层厚度数米~数十米,主要为风成沙-沙土,地表水不发育,这种相对疏松、缺水的沙土层的电阻率较高,对探测其下伏构造矿化低阻带的影响较小。

(2) 测区地势平缓,对甚低频测量的地形影响较小。

(3) 赋矿地层围岩条件单一,主要为闪长岩类,属于高阻岩系(电阻率 $10^{4-5} \Omega \cdot m$);而矿化带内金属矿化发育,相对低阻特征明显(如黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等,电阻率一般为 $10^{-3} \sim 10^0 \Omega \cdot m$)。

(4) 断裂控矿特征明显,矿体与围岩界限较截然,呈脉状陡倾角产出。构造破碎带、断裂裂隙带是地质体中的一大不连续性地体界面,构造变形、破碎甚至动力变质作用,导致原岩物理状态、化学性质等方面均有明显的改造,因此,构造破碎带与其两侧围岩(弱变形地质体)的物化性质差异明显,尤当构造破碎带中多金属矿脉的充填、矿化蚀变带的发育,以及断层泥、粘土矿物及地下水、裂隙水的相对发育与富集,均可导致明显的甚低频低阻异常反映。因此,应用甚低频电磁测量可以获得良好的探测效果。

3 技术措施与资料处理

3.1 测区甚低频测量的技术条件

(1) 仪器型号:重庆地质仪器厂生产的 DDS-I 型甚低频仪。

(2) 测量方法:鉴于测区风成沙土覆盖严重,开展隐伏矿体预测研究采用磁倾角(D)法。

(3) 测线方向:北西向和近南北向断裂为矿区控矿构造,主要含矿构造带方位 NW330°左右,因此,甚低频剖面方向确定为 NE60°,与矿区主要含矿构造带方向近于垂直。

(4) 剖面线距与观测点距:为对矿区控矿构造格局与矿化带的空间分布特征进行较系统的研究,开展甚低频扫面测量工作,采用 50×10m(线距×点距)。

(5) 工作电台:鉴于待探测地质体走向 NW-近 SN 向,与澳大利亚台(NWC 台)的方向近于一致,因此,选台为 NWC 台(频率:22.3 kHz)。

3.2 测量数据处理

利用 VLF 磁倾角(D)测量,若没有干扰因素下,倾角剖面曲线的真零交点出现在构造-矿化低阻带的上方,以此来进行空间定位预测。由于实际应用中存在地质噪声、区域背景和相邻地质体的干扰,以及地形起伏等影响,往往导致磁倾角(D)剖面上零交点与地下隐伏构造-矿化低阻带实际位置间发生偏移,甚至不显示零交点和出现假零交点。因此,对实测资料尚须进行真、假零交点的判识,地形校正处理及区域背景干扰因素的消除等。

Fraser(1969)提出的简单数字滤波方法可消除噪声并划分区域背景,该方法利用一个差分算子将投点或“交点”变成峰值,并用一个低通滤波器来消除噪声,它可用如下数学表达式来描述:

$$F_{n+2, n+1} = (D_{n+3} + D_{n+2}) - (D_{n+1} + D_n)$$

式中: n 表示测点的顺序($n=1, 2, 3, \dots$); D 为测点上磁倾角读数; F 为倾角 Fraser 滤波值。滤波结果把剖面上的拐点或过零交点异常变成极大值,其峰值即对应地下低阻异常体。

为进一步揭示待测低阻异常体在横剖面上的空间展布规律,本次研究相应采取了对实测倾角资料的线性滤波处理。该方法是基于甚低频倾角资料的不连续性,通过线性滤波处理,其结果用特定深度的等效电流密度来表示,测量的磁场即由它产生。因此,通过对同一组实测资料进行不同深度的反滤波,可以揭示电流密度随深度变化的特征。电流密度大的区域即为低阻异常体的位置,并据其异常体发育特征来揭示地下待测异常体的空间展布特征(如产状等)。在进行不连续滤波计算时,采用如下经验公式(Karous et al., 1983):

$$\Delta Z / 2\pi \cdot I_a \Delta x / 2 = -0.205H_2 + 0.323H_{-1} - 1.446H_0 + 1.446H_1 - 0.323H_2 + 0.205H_3$$

式中： $H_i = H_{zm}(i \cdot \Delta x)$ 为某测点 i 的垂直磁场值， $i = -2, -1, 0, 1, 2, 3$ 为测点编号，系指求取某一电流密度值（其点位于 0~1 测点的中间）则需利用其左、右两侧相邻 6 个测点（点距 Δx ）的垂直磁场值； Δx 为测点距； $\Delta Z/2\pi$ 为一常数。为得到电流密度相应的实分量，把上式滤波参数用于相对异常的实分量 $Re(H_z/H_0)$ ，并由公式：

$$Re(H_z/H_0) = \tan D$$

建立与极化椭圆倾角 D 的关系。值得说明的是，由上求得的电流密度值是反映地下各测点电流密度大小的相对变化规律。

4 测量成果及综合分析

4.1 剖面上甚低频异常特征分析

单一剖面上的甚低频异常，是判断剖面沿线构造矿化带发育特征的重要依据。包括：构造矿化带的条数与产出部位预测、剖面上的产状特征分析等方面。它们主要根据 VLF 极化椭圆倾角 (D) 特征或倾角 Fraser 滤波值 (F) 特征，即：倾角 D 剖面曲线的真零交点或 Fraser 滤波值 F 峰值部位，对应地下构造-矿化低阻异常体的位置。剖面上的产状定位则根据对实测倾角资料的线性滤波处理，通过等效电流密度等值线剖面图及其所揭示的低阻异常体的形态产状特征来间接判断。

如图 1 所示，是哈尔楚鲁图矿区 VLF-10 线甚低频剖面图，研究表明：剖面沿线共发育有 3 条隐伏构造矿化体，分别位于剖面线的 135 m、305 m 和 455 m 处（见图 1a）；前者产状倾向 SW，后两者倾向 NE（见图 1b）。

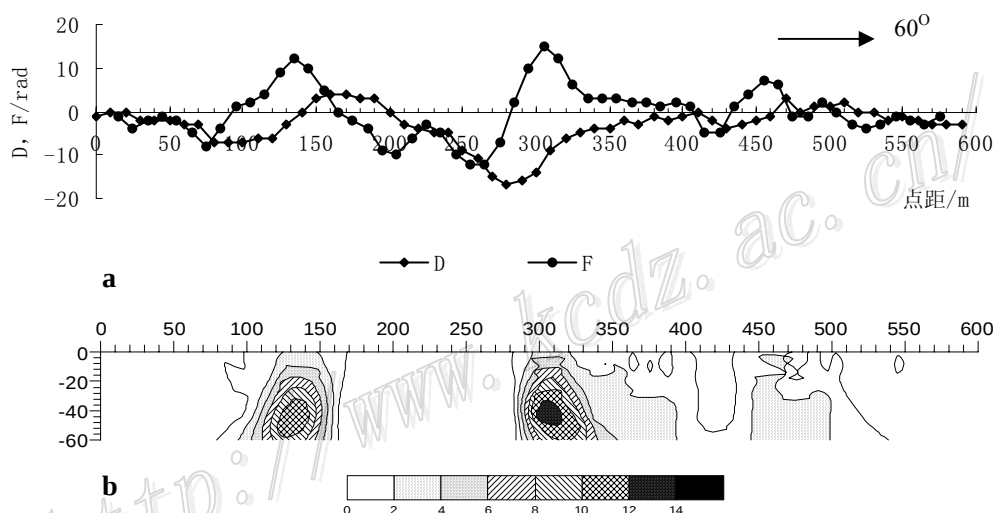


图 1 内蒙古哈尔楚鲁图矿区 VLF-10 线甚低频剖面图

a. 磁倾角剖面图；b. 电流密度等值线图

4.2 平面上甚低频异常特征分析

在系统性的“甚低频扫面”基础上，对甚低频磁倾角测量成果进行 Fraser 滤波处理，并绘制其等值线平面图，根据甚低频异常带（体）在平面上的分布特征与组合规律，进行控矿构造基本格局分析、构造复合控矿规律研究，指导找矿预测与探矿工程部署。

哈尔楚鲁图矿区研究成果（图 2）表明：①Fraser 滤波等值线平面异常图清楚地揭示了研究区由 NNW 和 NWW 两个方向断裂组成的“菱形网格状”控矿构造基本格局；②NNW 向异常带的异常强度规模较大，延伸连续性较好，NWW 向相对较弱、断续延伸，反映两者发育程度的差异性，以前者为主；③异常强度峰值区（Fraser 滤波值高值区）主要位于 NNW 和 NWW 两个方向异常带的交汇部位，客观地揭示了不同方向构造复合及其控矿的基本特征；预测它们属矿体膨大部位与找矿-探矿的有利地段。

5 小 结

（1）甚低频电磁测量在覆盖区进行大比例尺控矿构造特征研究，开展隐伏构造-矿化带的空间定位预测，是一种快速有效的浅层物探方法。

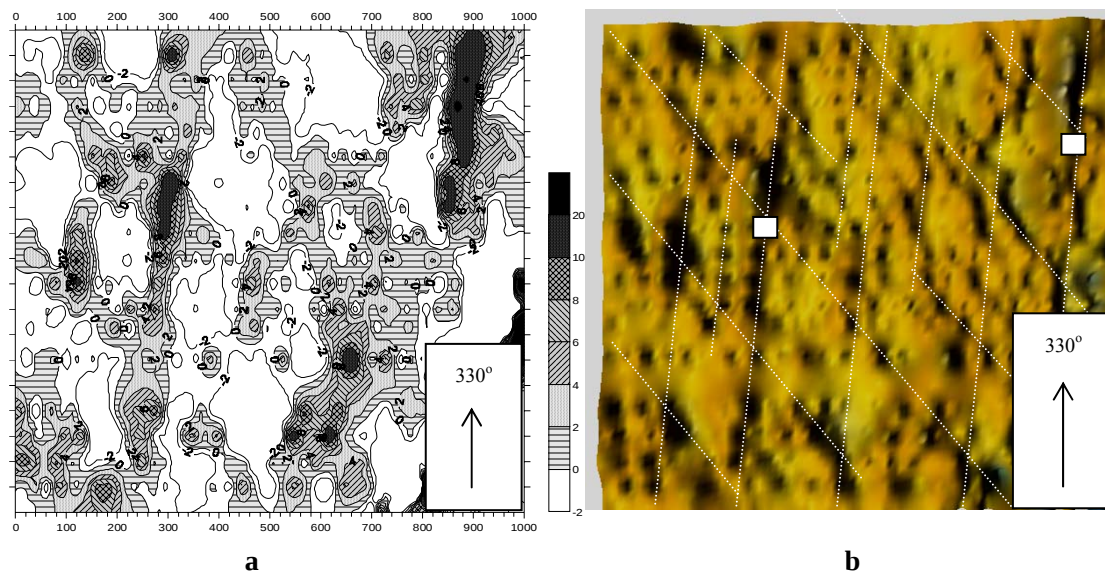


图2 内蒙古哈尔楚鲁图矿区甚低频异常平面分布图

a. 甚低频磁倾角 Fraser 滤波等值线图; b. 控矿构造格局解译略图 (图中小方块为探矿工程验证见矿)

(2) 哈尔楚鲁图矿区断裂控矿特征明显, 由 NNW 和 NWW 两个方向断裂组成“菱形网格状”控矿构造基本格局, 其中, NNW 向构造矿化低阻带的异常强度规模较大、延伸连续性较好, 应属本区的主要控矿构造带。

(3) 根据不同方向构造复合及其控矿的基本特征, 预测矿区 NNW 和 NWW 两个方向断裂带的交汇部位, 是矿体膨大部位与找矿-探矿的有利地段。

致谢 参加本文野外甚低频测量研究工作, 还有中科院地质与地球物理研究所的孙兴国硕士、中国地质大学(北京)的张启明硕士、北京科技大学的张锐硕士、李德亨博士等, 相关研究工作还得到中科院地质与地球物理研究所的刘建明、刘红涛、于昌明、叶杰等同志的大力支持与帮助, 在此一并深表致谢。

参考文献

- 白大明, 刘光海, 常忠耀, 等. 1998. 甚低频电磁法在老硐沟氧化淋滤型金矿勘查中的应用效果. 地质与勘探, 34(2): 46~49.
- 史宝连, 陈华珍, 袁庆华. 1986. 等甚低频电磁法. 北京: 地质出版社. 1~148.
- 张寿庭, 徐旂章, 郑明华. 1999. 甚低频电磁法在矿体空间定位预测中的应用. 地质科技情报, 18(4): 85~88.
- Fraser D C. 1969. Contouring of VLF-EM data. Geophysics, 34: 958~967.
- Guerin R and Benderitter Y. 1995. Shallow karst exploration using Mt-VLF and DC resistivity methods. Geophysical Prospecting, 43: 635~653.
- Karous M and Hjelt S E. 1983. Linear filtering of VLF dip-angle measurements. Geophysical Prospecting, 31: 782~794.
- McCaffrey R J, McElroy W J and Leslie A G. 1995. Exploration of a lignite-bearing basin in Northern Ireland using ground magnetic and VLF-EM. Geophysics, 60: 408~412.