

新疆阿舍勒铜矿床深、边部及外围找矿试验

闵 刚¹ 王绪本¹ 王 刚² 贾安生² 李 晶¹

(1. 成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室, 四川 成都 610059;
2. 新疆阿舍勒铜矿股份有限公司, 新疆 阿勒泰 836500)

摘要: 根据前期对阿舍勒铜矿床成矿规律的了解, 结合钻探、化探及地质资料综合分析, 可知矿区主要矿体 I 号矿体北部呈隐伏状, 并具有继续北延、深度逐渐加大的趋势, 为深、边部找矿提供了良好的试验地点。本文介绍了激发极化法与可控源音频大地电磁法(CSAMT)在探测深部硫多金属矿体中的优势及其工作方法; 在试验区进行激电中梯、可控源音频大地电磁法(CSAMT)组合勘探, 测量结果充分验证了 I 号矿体的北延趋势, 可控源音频大地电磁法二维反演剖面较好的反应了 I 号矿体“U”字型空间展布特征。

关键词: 深部找矿; 直流激发极化法; 中梯装置; CSAMT 法; 铜矿床

中图分类号: P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)03-0769-09

伴随着中国经济的飞速发展, 对矿床资源的需求日益增大, 但国内许多老矿山可开采量却不断减少; 随着找矿工作的不断深入, 地表露头矿越来越少, 找矿难度不断加大, 找矿费用日益加大。面对上述形势, 加强老矿山已探明矿体深部、外围的隐伏矿体的预测找矿工作, 已日益显现出其紧迫性和重要性^[1]。

激发极化法可有效探测铜多金属硫化物, 可控源音频大地电磁法(CSAMT)具有勘探深度大、分辨率强等特点。本次试验充分发挥直流激发极化法和可控源音频大地电磁法的技术优势, 重点针对 I 号矿体, 在试验区内(I 号矿体北部区域)采用中梯装置进行大功率直流激电剖面测量, 获得有利电性异常的横向展布信息, 然后再对重点异常部位进行可控源音频大地电磁(CSAMT)测深, 验证 I 号矿体的北延趋势, 为后期已知矿体深、边部找矿提供方法依据。

1 矿区地质概述

阿舍勒矿区位于哈萨克斯坦国矿区阿尔泰东南

延伸部位, 是著名的金及有色金属成矿带。区内地质构造复杂, 褶皱、断裂发育, 岩浆活动强烈。成矿作用明显, 是寻找海相火山成因块状硫化物矿床的有利区段。矿区出露的地层有上古生界中-下泥盆统托克萨雷组(D_{1-2t}), 中泥盆统阿舍勒组(D_{2as})和上泥盆统齐也组(D_{3q}), 新生界古近-新近系和第四系在区内零星分布, 泥盆系在区内广泛出露, 岩石普遍遭受了区域低变质作用。早、中泥盆世是新疆北部的一个重要拉张期, 阿尔泰山南缘在拉张作用下形成了一条北西向的大陆裂谷带, 该带中有冲乎尔、阿舍勒和蒙库 3 个火山岩盆地, 阿舍勒铜锌矿床即产于阿舍勒盆地中。

经过后期多次的挤压—拉张体制的转换, 阿舍勒组地层经受了复杂的褶皱、断裂作用, 矿层也与地层一起接受褶皱、断裂作用的改造, 目前所见到的 I 号矿体的形态就是一个倒转的向斜。该矿体产于细碧岩与石英角斑质火山碎屑岩之间的接触面上。在水平断面上形似“月牙状”, 在横断面上呈“鱼钩状”,

收稿日期: 2011-10-22; 改回日期: 2012-04-10

基金项目: 国家 863 计划项目“起伏地形三维电磁法正反演解释工作站”(2009AA06Z108)资助。

作者简介: 闵刚, 男, 1983 年生, 博士生, 专业为地球探测与信息技术, 研究方向为地球物理反演与成像研究; E-mail: mg-s1983827@163.com。

埋深于 888~110 m 水平标高间,矿体走向上长 843 m,枢纽倾伏长 1 250 m,厚度 5~120 m。向斜倒转翼和回转端矿体厚度最大,翼矿体厚度最小。

从矿床的物质组分、结构构造及蚀变矿化特征来看,该矿床应属于海底火山沉积形成,或称作火山成因块状硫化物矿床,矿床具有低阻高极化的电性特征。矿区主要矿体 I 号矿体呈似层状或大的透镜体,与地层整合接触,同步褶皱(图 1),由图可以看出 I 号矿体在 1 线以北呈隐伏状,且隐伏深度逐渐增大,在 9 线的倾斜深度已远大于 600 m,但按其变化规律 9 线向北仍有延伸,按其自然趋势及 D 级网度外推至 13 线处,图 1 结果认为 I 号矿体在 13 线处趋于尖灭。本次找矿实验研究的目的之一就是在 I 号矿体北部开展综合地球物理勘探,查明 I 号矿体的北延趋势及空间展布形态,为后期矿产开采提供参考。

2 岩石和矿石的地球物理特征

阿舍勒铜锌矿床的主要矿石类型为块状矿石、稠密浸染状矿石、稀疏浸染状矿石、凝灰岩、英安岩、玄武岩、石英斑岩、次生石英岩是测区内主要矿体上下盘围岩。

由表 1 统计数据可知,矿区硫化物矿体具有明显的高极化特性, η_s 的变化范围在 28.0%~77.0%,围岩的极化率变化范围在 1.60%~8.40%,属于低极化特征。二者极化率差异非常大,平均差异在 20 倍以上。

同时,由表 1 和表 2 的统计数据可知:多类矿石的电阻率的变化范围是:12~584 $\Omega \cdot m$ 属该区的相对低阻体,而围岩的电阻率的变化范围是:647~8 942 $\Omega \cdot m$,大多数大于 1 000 $\Omega \cdot m$,只有稀疏浸染状矿石电阻率(584 $\Omega \cdot m$)与矿化蚀变带较为接近,原则上讲,矿体与围岩之间导电性差异应属明显范畴(致密块状和稠密浸染状矿体均属低阻体,围岩属中高阻体)。

3 方法技术和参数选择

3.1 直流激发极化法

直流激发极化法是通过研究在一定的供电电流作用下,二次场电位差(ΔU_2)随时间变化的特点和规律求得视极化率 η_s 的激发极化法。直流激电法是在断电后观测和研究激电二次场的时间特性,在避免电磁耦合干扰方面和研究岩矿石放电特性方面,

优于交流(频谱)激电。在直流激电法中,岩矿石的极化率 η_s 是充电时间 T 与放电取样时间 t 的函数:

$$\eta(T, t) = \frac{\Delta U_2(t)}{\Delta U(t)} \times 100\%$$

$\Delta U(t)$ 为供电时间 T 的总电场电位差, $\Delta U_2(t)$ 为断电后 t 时刻的二次场电位差。

大功率激电扫面采用中间梯度装置,该装置的最大优点在于敷设一次供电系统后,可以使用多台接收机在几条剖面上同时进行观测,该装置具有较高的生产效率,适合做面积性的普查工作。激电剖面测网设计线距为 100 m,点距为 20 m。供电端选择加拿大凤凰公司的大功率发射机 TXU-30,设计供电偶极 AB=2 000 m,供电电流 16 A;测量偶极 MN=40 m,点距 20 m,采用短导线工作方式。接收机采用重庆奔腾数控的 WDJ5-2 数字直流激电接收机,通过选择已知高极化率异常体进行试验,选择测量参数为:供电周期为 8 s,叠加次数 2 次,延时 200 ms,采样时宽 40 ms。

3.2 可控源音频大地电磁法(CSAMT)

可控源音频大地电磁法(CSAMT)是在音频大地电磁测深(AMT)法基础上发展起来的一种人工场源频率测深方法,通过改变人工场源的频率,实现不同深度的探测,由于在人工场源中可采用大功率发射设备,使其具有较强的抗干扰能力^[3]。该方法目前多采用赤道偶极标量测量方式,即沿一定方向(设为 X 方向)布置的供电电极 AB 向地下供入某一音频 f 的谐变电流,在一侧 60°张角的扇形区域内,沿 X 方向布置测线(图 2),沿测线逐点观测相应频率的电场分量 E_x 和与之正交的磁场分量 H_y ,进而计算卡尼亚视电阻^[3]:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega \mu} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2}$$

μ 是大地的磁导率,通常取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。在音频段 10^{-1} 至 10^3Hz 间逐次改变供电电流和测量频率,便可测出卡尼亚视电阻率和阻抗相位随频率的变化,得到卡尼亚视电阻率、阻抗相位随频率的变化曲线,完成频率测深观测。

可控源音频大地电磁测深采用加拿大凤凰公司的 V8 电法工作站进行测量工作。测线布置垂直激电剖面测量的异常体,野外工作中采用赤道偶极装

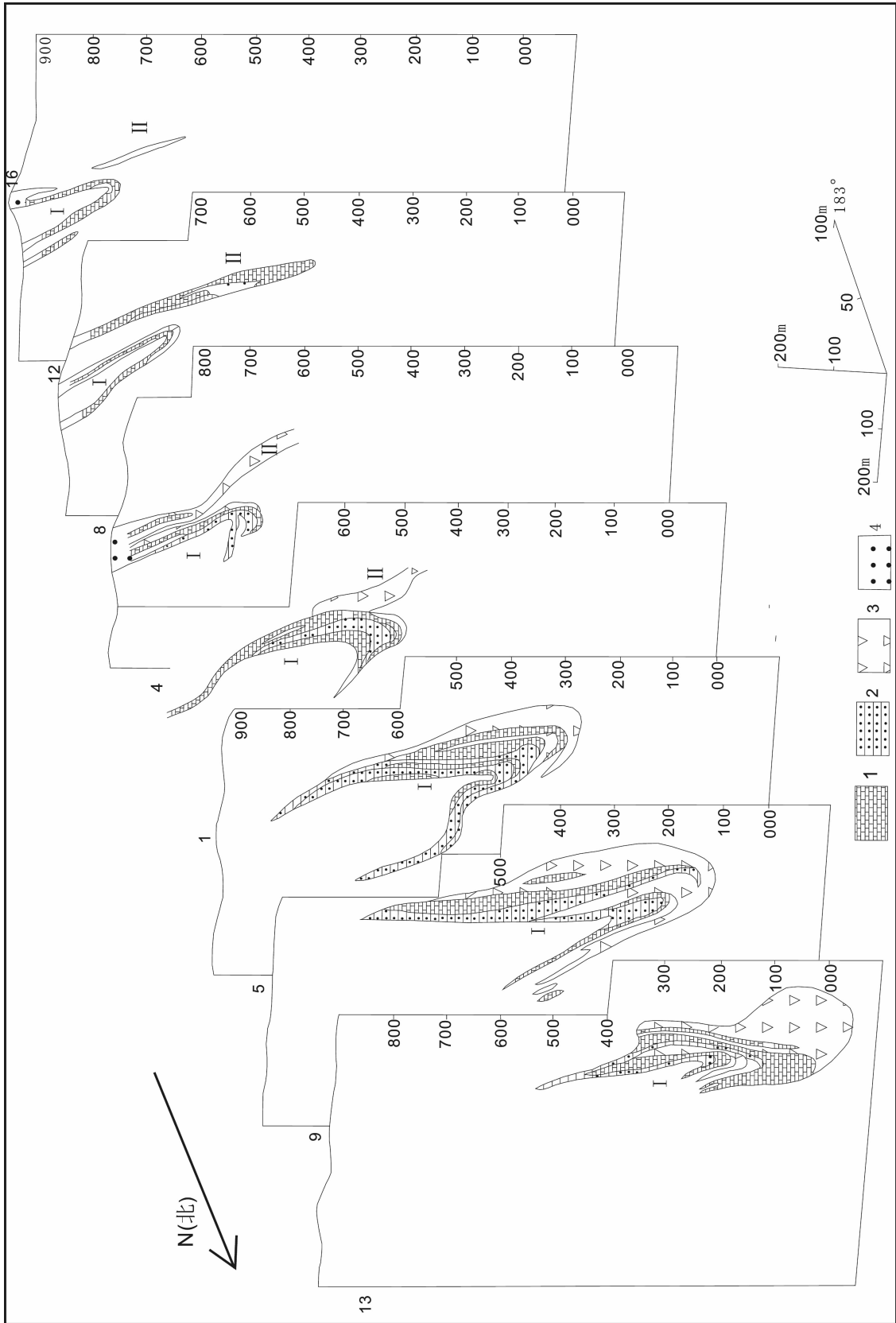


图 1 I 号铜锌矿床矿体联合剖面图(据新疆地勘局第四地质大队地质报告, 1990)

1—铜硫矿石; 2—铜锌硫矿石; 3—硫铁矿石; 4—铁帽
 Fig.1 Joint profile for copper and zinc ores of No. I ore body
 1—Cu-S ore; 2—Copper and zinc sulfide ore; 3—Pyrite ore; 4—Gossan

表 1 阿舍勒矿区各类岩石(矿)电性参数表
Table 1 Electrical parameter table of rock (ore) in the Ashele ore district

岩石名称	块数	电阻率 ($\Omega \cdot m$)		极化率 η_s (%)	
		变化范围	均值	变化范围	均值
块状矿石	3	12~584	112	67~88	77
稠密浸染矿石	12	1.6~957	241	22~89	60
稀疏浸染矿石	21	17~3140	584	9~78	28
矿化玄武岩	6	312~4050	1985	2~39	8.4
英安岩	10	64~2475	1032	0.3~19	2.1
凝灰岩	22	333~30405	8942	0.4~13	1.6
石英斑岩	11	410~7423	2441	0.2~31	4.4
玄武岩	5	751~3981	1506	0.7~1.4	1.0
次生石英岩	2	560~6430	2200	2~2.3	2.1

注:电性参数根据《阿舍勒铜锌矿找矿模型与隐伏矿床预测报告,1994》整理。

表 2 阿舍勒矿区露头电性小四极法测试结果统计
Table 2 Electrical test results of outcrop by small four-pole method in the Ashele ore district

露头岩性	测量点数(处)	电阻率均值/ $\Omega \cdot m$
火山角砾岩	5	647
闪长岩体	5	1767
玄武岩	5	1049
此生石英岩	10	1538
矿化蚀变带	20	581
第四纪	6	96.8

注:电性参数根据《阿舍勒铜锌矿找矿模型与隐伏矿床预测报告,1994年》整理。

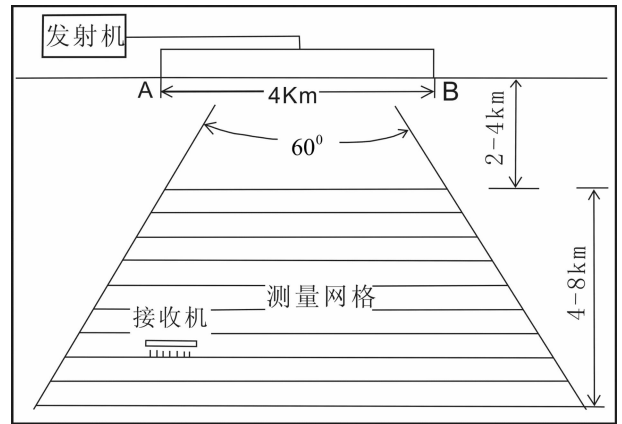


图 2 CSAMT 法标量测量示意图

Fig.2 Sketch map of scalar measurement method by CSAMT

置标量测量方式。为减少近场影响,在工作初期,针对试验剖面进行了不同收发距地试验测试,试验所选的收发距分别为 7 000 m、10 000 m、12 000 m、14 000 m 和 16 000 m,其他技术参数为:发射偶极距 1 500 m,接收偶极距 40 m,点距 40 m,工作频率 1~8 192 Hz,发射电流在高频段不小于 3 A,中低频段不小于 16 A。

当收发距为 7 000 m、10 000 m、12 000 m、14 000 m 时,所获得的电阻率-频率曲线形态基本相同,所不同的仅是过渡区低谷出现的频率值有异;当收发距为 14 000 m 和 16 000 m 时,所获得的电阻率-频率曲线形态基本相同,且过渡区低谷出现的频率值基本一致。上述试验表明当收发距大于 14 000 m

时,可以有效减小近场效应对采集数据的影响,同时考虑到收发距越大,人工源信号越弱,信噪比相应就越低,故全区最终采用 14 000 m 的收发距。

4 资料处理

激电中梯测量需在原始资料检查复算正确的基础上进行资料的处理,数据处理采用人工处理和计算机程序自动处理两部分。人工处理部分主要是剔除同一测量点的多次测量数据值中偏差较大的飞点或跳点,以便利用程序计算同一测点多次测量的平均值。视极化率(η_s)来自于仪器直接测量;由于本次野外工作采用短导线方式,需要在室内计算得到相应测点的视电阻率值(ρ_a),视电阻率的计算也采

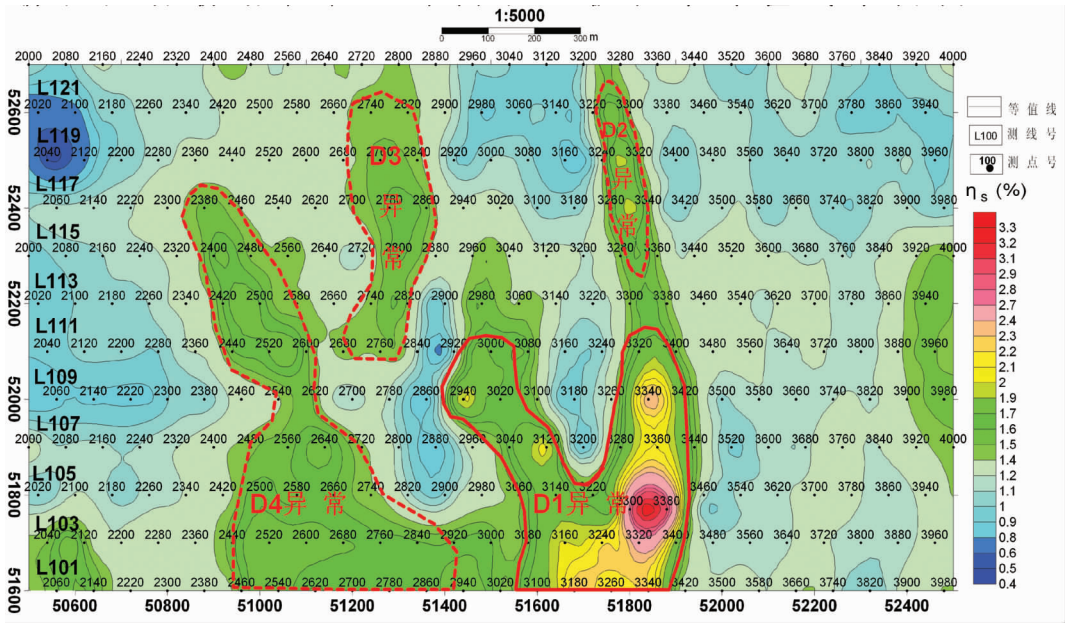


图 3 试验区激电中梯测量视极化率平面等值线图

Fig.3 Contour map of apparent polarization measured by central gradient device in the test area

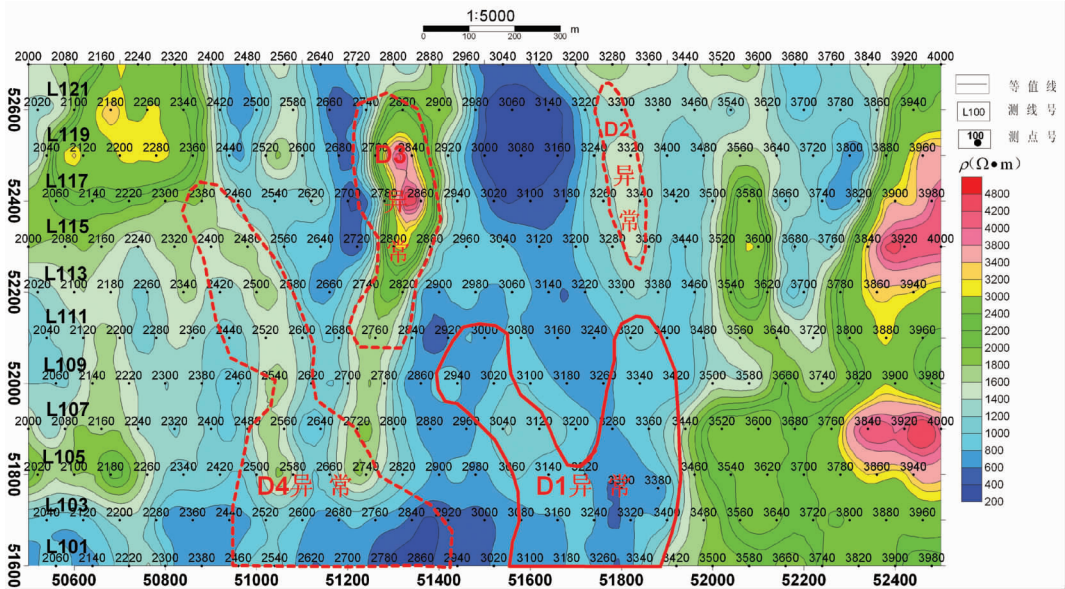


图 4 试验区激电中梯测量视电阻率平面等值线图

Fig.4 Contour map of apparent resistivity measured by central gradient device in the test area

用计算机自动处理方式,并输出相应格式的数据文件,最后利用各测线的视极化率和视电阻率数据,由程序自动生成工区视极化率和视电阻率平面等值线图,可控源音频大地电磁测量(CSAMT)资料的处理分预处理部分和资料后续处理。野外原始资料预处理采用 V8 观测系统标配的处理软件系统(CMT Pro

Version 2.0)进行;采用成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室王绪本等自主开发的“MTSoft 2D 大地电磁二维处理和解释软件”进行后续处理解释,在处理过程中,首先对野外数据进行剔野值、去噪、静态校正及近场校正等处理,然后进行一维 BOSTICK 及二维非线性共轭梯度(NLCG)反

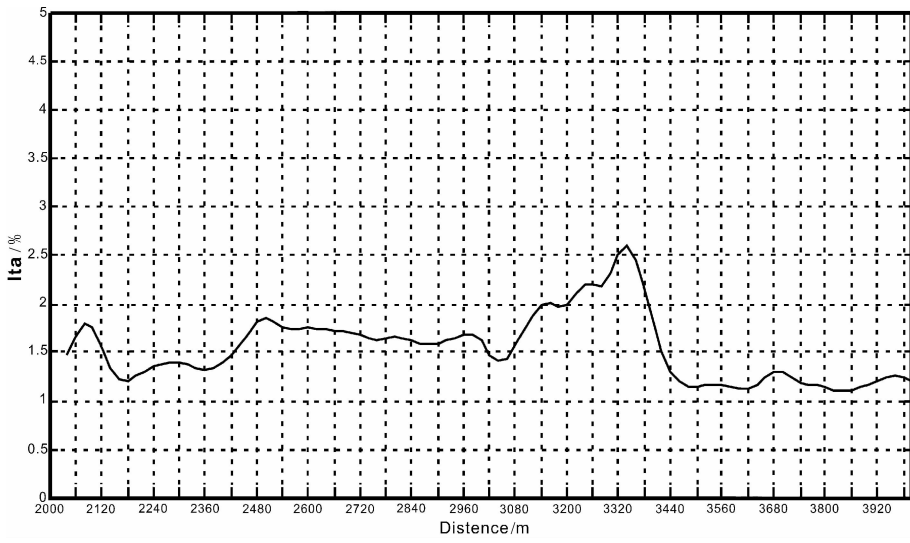


图 5 试验区 L103 线激电中梯剖面图

Fig.5 Profile along L103 line measured by central gradient device in the study area

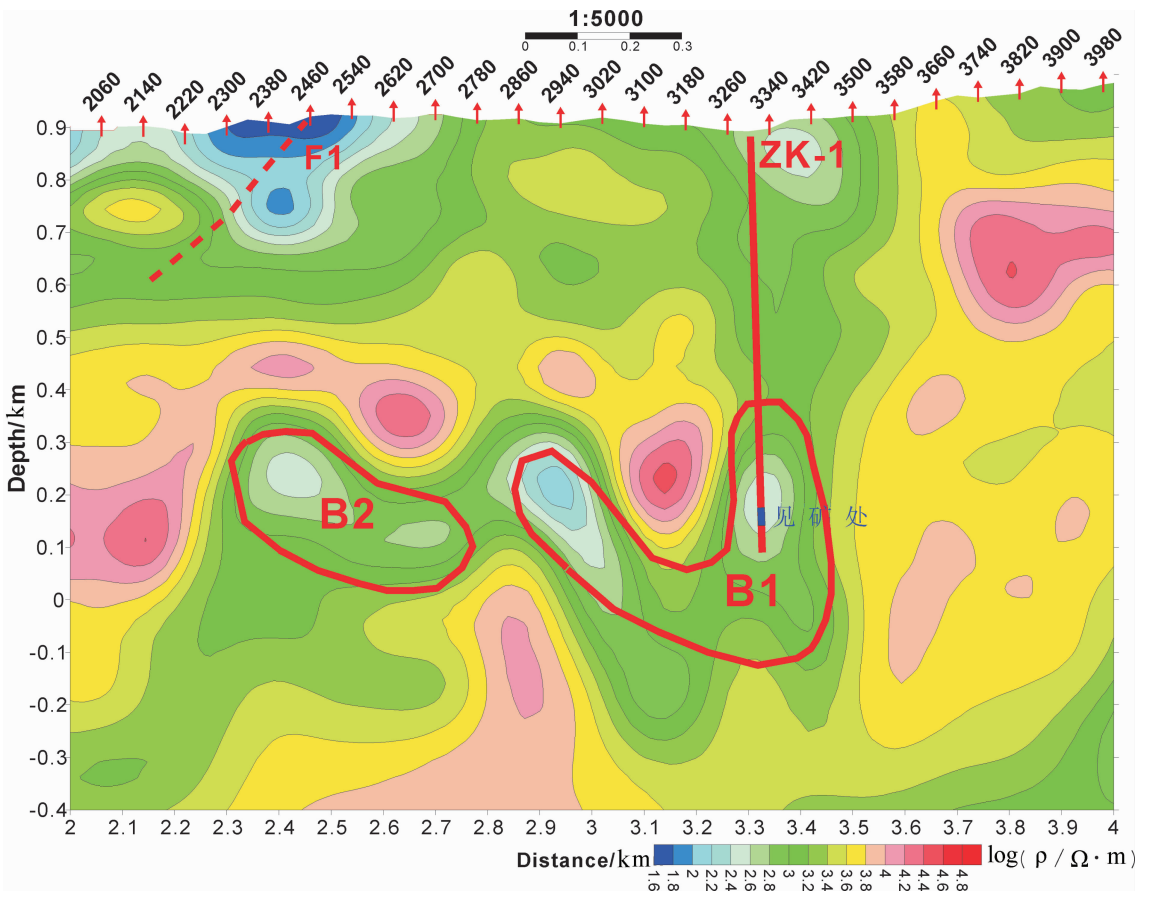


图 6 试验区 L103 线可控源音频大地电磁(CSAMT)二维反演剖面图

Fig.6 Two-dimensional inversion profile along L103 line by CSAMT method in the study area

演成像,获得沿剖面方向的二维电性结构图。

5 异常分析及试验效果

5.1 激电平面异常分析

物探队伍在进场后选择了远离开采区的一处已知异常进行了实验,结合分析周围围岩的极化率异常值,最终确定本试验区的有利激电极化率异常阈值为 1.9%,并值介于 1.9%到 2.1%间的定义为中极化率异常,值介于 2.1%到 3.4 之间的定义为高极化率异常。按照极化率异常阈值可以圈定出 D1、D2、D3 和 D4 四个极化率异常区域(图 3),其中 D1 异常极化率值最高可以达到 3.4%,D2 异常的极化率值次之,最高可以达到 2.1%,D3 和 D4 极化率异常相对 D1 异常较低。因为试验区的探测目标,即块状矿石及稠密浸染矿石具有低阻高极化率的岩石物性特征,结合分析实验区的视电阻率平面异常图(图 4)与研究区岩石的极化率、电阻率物性特征及地表地质等资料,推测 D2 异常表现为中极化率中电阻率的特点,可能为研究区内英安岩或地表蚀变带的综合反映;D3 异常表现为中极化率高电阻率的特点,可能为研究区矿化玄武岩等的综合反映;D4 异常 L103 线到 L117 线间表现为中极化率中电阻率的特点,可能为石英斑岩、英安岩及矿化蚀变带的综合反映,在测线 L101 至 L103 区域内表现为中极化率低电阻率特征,可能为埋藏较深的块状矿石、稀疏浸染矿石或矿化蚀变带的综合反映;D1 异常表现为低阻高极化的物性特征,可能为块状矿石或稠密浸染矿石的反映。鉴于以上分析,同时考虑到 D4 异常南部 L101 至 L103 区域可能存在的矿体深度大,勘探成本相对较高的原因,笔者圈定了成矿有利异常区域 D1 进一步开展可控源音频大地电磁测深(CSAMT)调查研究,以期查明矿至异常体在深部的空间展布规律。

D1 号异常位于已知矿体 I 号矿带、II 号矿带北延区,异常区正好位于成矿有利部位。南缘与已知矿带存在近邻关系。异常位于测量点号 3 200~3 420,异常北延至 105 线后由 1 个分为 2 个,分别具有以下特点:D11(左支)异常宽度大约 130 m,极大值小于 D12 的极大值,约为 2.3%,南端(靠近已知矿带)呈南北向,在 105 线处轴向偏北西, η_s 剖面曲线梯度小;D12(右支)异常宽度小,约 200 m,极值较大, η_s 极大值约 3.4%,长轴为南北向,延伸长度大于

500 m, η_s 剖面曲线梯度大。

5.2 可控源音频大地电磁测深解释

由图 3、图 4 可以看出 L103 线 3 300 至 3 350 点下部有一个低阻高极化率异常体存在,为了追索异常体的下延趋势及空间展布形态,在测线 L103 上布置了可控源音频大地电磁测深(CSAMT),可控源音频大地电磁测深点距 50 m,剖面长 2 km。

从可控源音频大地电磁测深(CSAMT)二维反演剖面图上可以看出,在 2 300~2 700 号点下方距地表 700~900 m 深度处展布一低阻异常带 B2,该低阻异常宽约 400 m,通过图 5 所示剖面分析,该异常在地表引起的极化率异常较弱,故将该异常定义为稀疏浸染矿石的反映,需要结合其他物探地质资料进一步分析其岩石成分;在点号 2 900~3 400 下方距地表 700~1 100 m 深度处展布低阻异常 B1,该低阻异常宽约 500 m,低阻异常分为左右两支,图 5 激电异常剖面结果显示左支(B11)低阻异常的极化率相对较低,右支(B12)表现为低阻高极化率的特点,因矿区的块状矿石及稠密浸染矿石具有低阻高极化的电性特征,故将该异常区的左支解释为次级成矿有利带,右支定义为最有利成矿区带,两支曲线共同形成了空间展布形态为似“U”字型的构造特点,与已知 I 号铜锌矿床矿体的空间展布特征基本一致;在 2200~2600 号点间从地表到地表下方 250 m 处展布一明显低阻异常带,结合地质资料推断,该异常可能为断裂破碎带引起。

通过激电中梯剖面测量结果可以认为 I 号铜锌矿床向北延伸的趋势明显,结合可控源音频大地电磁法(CSAMT)二维反演剖面图所圈定的次级成矿有利区带 B11 最有利成矿异常带 B12,验证了 I 号铜锌矿床的赋存深度往北是逐渐加深的,在 L103 线处其深度最深达到 1 000 m 左右,且其空间展布形态为似“U”字型;另外可控源音频大地电磁法测得的异常 B2,因其引起的极化率异常微弱,推测其可能为稀疏浸染矿石或英安岩的反映。鉴于勘探风险,选择 B12 异常带进行钻井验证,B2 异常与 B11 不作为本次钻井验证的目标异常区。

6 钻孔验证

基于以上认识,对可控源断面出现的高阻异常进行了验证,在点号 3250 处布置了一个钻孔(见图 6 中的红色线段),在打到 775 m 处见黄铜黄铁矿石

(见图 6 中的蓝色线段)。由验证结果可以看出,对激电异常与可控源电阻率异常的分析解释是正确的,矿体和高阻异常有关,都出现在高阻异常的梯级带上。

7 结 论

(1)通过可控源音频大地电磁测深剖面资料的解译。我们发现极化率异常和电阻率异常轴线呈向西倾斜的“U”型分布,它们同前人对矿体的空间分布在横剖面上为“鱼钩”型是完全相吻合的。

(2)结合分析激电中梯测量与可控源音频大地电磁(CSAMT)勘探结果,可知低阻异常带与地下高极化体有关,极化体大致埋深为 700~1 000 m。以上结论进一步验证了 I 号矿体向北、向深部延伸的趋势,为后续勘探开发提供了可靠依据。

(3)提出了针对已知矿床深、边部找矿的组合物探勘探模式,即先用激电中梯测量对试验区进行面积性测量,圈出有利异常带,然后采用可控源音频大地电磁(CSAMT)对重点异常区进行大深度勘探,获取异常体的大致埋深及空间展布形态。此组合勘探模式可以在深部找矿领域推广应用。

致谢:在本次研究试验工作中,新疆阿舍勒铜矿股份有限公司王刚主任、贾安生科长及陈红琪科长等给予了大力支持,新疆第四地质大队陈蜀雁、刘永明工程师等给予了热心指导,在此一并深表感谢。

参考文献(References):

- [1] 王金亮,李俊平,李永峰,等.危机矿山深部找矿研究现状及建议[J].矿产保护与利用,2010,(2):46-49.
Wang Jinliang, Li Junping, Li Yongfeng. The current research situation and suggestions of deep exploration for crisis mines[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2010, (2):46-49(in Chinese with English abstract).
- [2] 滕吉文.强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发[J].地质通报,2006,25(7):767-771.
Teng Jiwen. Strengthening geophysical exploration and exploitation of metallic minerals in the second deep place of the crustal interior[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(7):767-771(in Chinese with English abstract).
- [3] 汤井田,何继善.可控源音频大地电磁法及其应用[M].长沙:中南大学出版社,2005:250-285.
Tang Jintian, He Jishan. Methods and Applications of CSAMT[M]. Changsha: Central South University Press, 2005:250-285 (in Chinese with English abstract).
- [4] 孟贵祥,庄道泽,王为江.西部戈壁荒漠区大极距激电找矿试验分析[J].地球学报,2006,27(2):175-180.
Meng Guixiang, Zhuang Daoze, Wang Weijiang. Experimental analysis of the long space induced polarization method in the Gobi desert area of Western China [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(2):175-180(in Chinese with English abstract).
- [5] 行英弟,朱永余.大功率激电在金属矿勘探中的应用效果[J].地质与勘探,1995,31(3):43-47.
Xing Yingdi, Zhu Yongyu. Large power electric method approach to metal deposit prospecting [J]. Geology and Prospecting, 1995, 31(3):43-47(in Chinese with English abstract).
- [6] 李相民.可控源音频大地电磁法在变质岩地区找水一例[J].地质学刊,2010,34(3):300-303.
Li Xiangming. Water exploration by CSAMT method in metamorphic rock area [J]. Jiangsu Geology, 2010, 34(3):300-303(in Chinese with English abstract).
- [7] 汤井田,周聪,邓晓红. CSAMT 视电阻率曲线对水平层状大地的识别与分辨[J].地质与勘探,2010,46(6):1079-1086.
Tang Jingtian, Zhou Cong, Deng Xiaohong. Identification and discrimination of the horizontal layered earth by using CSAMT apparent resistivity curves[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(6):1079-1086(in Chinese with English abstract).
- [8] 张建奎.可控源音频大地电磁测深找铅锌矿的应用[J].物探与化探,2010,34(2):167-169.
Zhang Jiankui. The application of CSAMT to the prospecting for lead and zinc deposits[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(2):167-169(in Chinese with English abstract).
- [9] 黄力军,孟银生,陆桂福.可控源音频大地电磁测深在深部地热资源勘查中的应用[J].物探化探计算技术,2007,29(增刊):60-63.
Huang Lijun, Meng Yinsheng, Lu Guifu. An application of CSAMT sounding to exploration of deep geothermal resources[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 29 (supp.):60-63 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李坚,邓宏科,张家德,等.可控源音频大地电磁勘探在大瑞铁路高黎贡山隧道地质选线中的应用[J].水文地质工程地质,2009,(2):72-76.
Li Jian, Deng Hongke, Zhang Jiade, et al. Application of geological routing about CSAMT exploration in Gaoligong Mountain tunnel of Dali-Ruili Railway[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2009, (2):72-76(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈进,毛先成,彭省临,等.物化探技术有效性定量评价方法研究——以凤凰山铜矿 CSAMT 法为例 [J].大地构造与成矿学,2010,34(2):262-268.
Chen Jin, Mao Xiancheng, Peng Shenglin, et al. Quantitative evaluation on availability through geophysical and geochemical prospecting techniques—A case study on CSAMT approach in Fenghuangshan Copper deposit [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2010, 34(2):262-268(in Chinese with English abstract).
- [12] 孙中任,张国瑞,魏文博,等.目前电磁法用于矿产勘查面临的几个问题的思考[J].地质与勘探,2005,14(4):305-309.

- Sun Zhongren, Zhang Guorui, Wei Wenbo, et al. Discussion on some problems in the application of electromagnetic method in mineral exploration [J]. *Geology and Prospecting*, 2005, 14 (4): 305-309(in Chinese with English abstract).
- [13] 安志国, 底青云. CSAMT 法对低阻薄层结构分辨能力的探讨[J]. *地震地磁观测与研究*, 2006, 27 (2):32-37.
- An Zhiguo, Di Qingyun. Discussion on CSAMT resolving power on the thin layer of low resistivity [J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 2006, 27 (2):32- 37 (in Chinese with English abstract).
- [14] 何继善. 可控源音频大地电磁法[M]. 长沙:中南大学出版社,1990.
- He Jishan. *Controlled Source audio-frequency Magnetotellurics* [M]. Changsha:Central South University Press, 1990 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王艳, 林君, 周逢道, 等. CSAMT 法深部低阻分辨能力及方法研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2009, 38(1):86-90.
- Wang Yan, Lin Jun, Zhou Fengdao, et al. Study of resolution and method of CSAMT for the deep low-resistivity [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2009, 38(1):86-90(in Chinese with English abstract).

Deep and edge prospecting tests in the Ashele copper ore deposit of Xinjiang

MIN Gang¹, WANG Xu-ben¹, WANG Gang², JIA An-sheng², LI Jing¹

(1. *Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology of MOE, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*; 2. *Ashele Copper Co., Ltd., Xinjiang, Altay 836500, Xinjiang, China*)

Abstract: Based on the metallogenic regularity of the Ashele copper ore deposit in combination with drilling, geochemical and geological data, the authors found that the northern part of No. I ore body (the major ore body) is in the concealment state and tends to extend northward accompanied by increasing depth. This discovery has provided a favorable test place for deep and edge prospecting work. This paper deals with the advantages of the IP and CSAMT methods in the exploration of deep sulfide polymetallic ore bodies and the practical working procedures. The combinational exploration composed of IP central gradient array and CSAMT was carried out in the test area, and the result has fully verified the northward extension tendency of No. I ore body. The two-dimensional inversion profile can fairly well reflect U-shaped spatial distribution of No. I ore body.

Key words: deep prospecting; DC induced polarization method; central gradient device; CSAMT method; copper deposit

About the first author: MIN Gang, male, born in 1983, doctor, engages in the study of geophysical inversion and imaging; E-mail: mg-s1983827@163.com.