

doi: 10.12029/gc20220415

刘伟, 黄理善, 丁汝福, 徐文杰, 胡乔帆, 周守余, 赵毅. 2022. 广西五圩矿田箭猪坡锑多金属矿综合信息找矿模型[J]. 中国地质, 49(4): 1250–1261.

Liu Wei, Huang Lishan, Ding Rufu, Xu Wenjie, Hu Qiaofan, Zhou Shouyu, Zhao Yi. 2022. Comprehensive information prospecting model for Jianzhupo antimony polymetallic deposit in Wuxu Mine Field, Guangxi[J]. Geology in China, 49(4): 1250–1261(in Chinese with English abstract).

广西五圩矿田箭猪坡锑多金属矿综合信息找矿模型

刘伟¹, 黄理善¹, 丁汝福², 徐文杰¹, 胡乔帆¹, 周守余¹, 赵毅¹

(1. 中国有色桂林矿产地质研究院有限公司, 广西 桂林 541004; 2. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012)

摘要:【研究目的】通过箭猪坡锑多金属矿综合信息找矿模型的研究, 对于进一步开展深部矿体定位预测具有重要意义。【研究方法】本文基于箭猪坡矿床锑多金属矿找矿工作, 研究了深部成矿模式, 分析了可控源音频大地电磁测深(CSAMT)、瞬变电磁测量(TEM)、地电化学测量等方法在深部找矿中的作用和效果。【研究结果】可控源测量能反映深部断裂带的延深情况, 瞬变电磁测量低电阻率能有效识别矿化带或控矿断裂带, 地电化学测量 Pb、Zn、Sb 元素变化曲线峰值能指示矿化体的存在。【结论】箭猪坡锑多金属矿地质-物探-化探测量综合信息找矿模型的建立为五圩地区深部找矿提供了可以识别的探测目标, CSAMT、TEM 及地电化学测量综合方法能探测控矿断裂的深部特征, 综合信息特征的找矿方法是构造控矿的有效技术手段。

关键词: 热液脉型矿床; 综合找矿模型; 锑多金属矿; 箭猪坡矿床; 矿产勘查工程; 广西

创新点: 采用地质-物探-化探综合找矿方法构建多源信息找矿模型, 预测深部矿体的位置、规模。

中图分类号: P618.66; P631.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)04-1250-12

Comprehensive information prospecting model for Jianzhupo antimony polymetallic deposit in Wuxu Mine Field, Guangxi

LIU Wei¹, HUANG Lishan¹, DING Rufu², XU Wenjie¹, HU Qiaofan¹,
ZHOU Shouyu¹, ZHAO Yi¹

(1. China Nonferrous Metal (Guilin) Geology and Mining Co., Ltd, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. Nonferrous Metal Mineral Geological Survey Center, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering

[Objective] Through the comprehensive information prospecting model of Jianzhupo antimony polymetallic deposit, it is of great significance to further develop the location prediction of deep ore body. **[Methods]** Based on the prospecting work of antimony polymetallic ore in Jianzhupo deposit, this paper studies the deep metallogenic model and analyzes the role and effect of controlled source audio frequency magnetotelluric sounding (CSAMT), transient electromagnetic survey (TEM), geoelectrochemical survey

收稿日期: 2019-07-10; 改回日期: 2022-06-07

基金项目: 2013 年度国土资源部老矿山找矿项目(12120113083800)及 2011 年广西河池五圩矿田箭猪坡铅锌多金属矿勘查广西大型地质矿产勘查项目(756576201157508)联合资助。

作者简介: 刘伟, 男, 1983 年生, 高级工程师, 主要从事矿产勘查和研究工作; E-mail: 258100458@qq.com。

and other methods in deep prospecting. **[Results]** Controlled source measurement can reflect the depth of the deep fault zone, transient electromagnetic measurement with low resistivity can effectively identify the mineralized zone or ore-controlled fault zone, and geoelectrochemical measurement of Pb, Zn, Sb elements change curve peak can indicate the existence of mineralized bodies. **[Conclusions]** Hedgehog slope antimony polymetallic geological and geophysical-geochemical measurement with the establishment of a comprehensive information prospecting model for five fair in deep prospecting provides the detection of target can be recognized, CSAMT, TEM and electrochemical measurement synthesis method can detect deep characteristics of ore-controlling fracture, characteristics of comprehensive information prospecting method is an effective technical means of construction controlling.

Key words: hydrothermal vein deposit; comprehensive prospecting model; antimony polymetallic ore; Jianzhupo deposit; mineral exploration engineering; Guangxi

Highlights: A multi-source information prospecting model is established by using the comprehensive prospecting method of geology-geophysical and geochemical exploration to predict the location and size of deep ore bodies.

About the first author: LIU Wei, male, born in 1983, master, senior engineer, mainly engaged in the mineral exploration and research; E-mail: 258100458@qq.com.

Fund support: Supported by the Ministry of Land and Resources jointly funded the old mine prospecting project of Guangxi Hechi Wuxu Antimony Polymetallic Ore Replacement Resources Exploration in 2013 (No.12120113083800) and Guangxi Large-scale Geological and Mineral Exploration Project of Guangxi Hechi Wuxu Ore Field Jianzhupo Deposit Lead-Zinc Polymetallic Ore Survey in 2011(No.756576201157508).

1 引言

找矿模型,又称勘查模型,是表述目标矿床及其对一定勘查技术产生预期效应的模拟体系,利用已有地质信息及现有找矿手段,并通过找矿模型来实现成矿的预测。找矿模型的建立不仅需要总结地质直接找矿标志,还需要借助地球物理、地球化学等间接找矿标志识别成矿信息,推断矿体空间位置(陈毓川和朱裕生,1993)。陈毓川和朱裕生(1993)指出找矿模型突出的是某类矿床的基本要素和找矿过程中特殊意义的地质、物化探和遥感影像等特征及其在空间的变化情况,总结发展该类矿床的基本标志和找矿使用的方法手段。找矿模型是矿产勘查工作的实际指导,它是缩小勘查区(或靶区)甚至发现矿床的择优技术。当前,地质找矿已由浅部逐步转变为深部矿、隐伏矿,其找矿难度也逐步增大,对隐伏矿预测定位及找矿模型的建立显得尤为关键。

20世纪80年代以来,中国的地质工作者开始探索建立找矿模型的技术,来处理和分析各类地学资料进行综合分析,为普查和评价矿产资源提供依据,根据所利用的地学数据的不同来源,综合研究成果分别表述为矿田或矿床的地球物理模型、地球

化学模型、地质-地球物理-地球化学模型或物理-地质模型。20世纪90年代以来,中国许多研究者对找矿模型的建模技术进行了系统的总结和推广。在寻找隐伏矿床的新方法上,多位研究者也建立了特有的找矿模型,如活动金属离子法、金属活动态法(MOMEO、(MMI) (Mann et al.,1998)、地气法(geogas) (Malmqvist et al.,1984)。姚金炎(1990)提出综合物探、化探的隐伏矿床预测方法生物地球化学法、离子晕法、电吸附(周奇明,1996)、植物地球化学、地电化学等。

箭猪坡矿床作为五圩矿田矿集区代表性矿床之一,该矿床于20世纪80年代被发现,先后进行了普查和详查工作,经过20多年的开采,矿山资源量已不能满足矿山开采需求,急需开展地质找矿工作,增加储量。前人对该矿床的地质特征、矿床成因,流体特征等方面开展了较多的研究,普遍认为其受构造控制的岩浆期后热液脉状矿床。然而,箭猪坡矿床乃至五圩矿田的同类型矿床至今缺少找矿模式的研究。笔者所在项目组2012—2016年先后对箭猪坡矿床开展了构造控矿规律、矿体定位预测及外围探矿权找矿预测研究等工作,首次在五圩矿田箭猪坡矿床发现了石英脉型锡矿体,矿体呈脉状,倾角 $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$,矿体平均品位:锡0.65%,铅

0.56%、锑0.73%、银46 g/t,锡石主要呈棕褐色,多沿裂隙发育,呈条带状。经锡物相分析,锡以锡石为主。并对紧邻采矿权外围的花洞、板才探矿权开展了土壤地球化学测量、地电化学测量、瞬变电磁测量、可控源测量工作,大大丰富了找矿信息。本文在综合分析箭猪坡矿床地质、物探、化探特征基础上,构建了箭猪坡锑多金属矿地质-物探-化探测量综合信息找矿模型(经验证找矿效果良好),以期为箭猪坡锑多金属矿集区热液脉型矿床及外围同类型矿床找矿勘查和评价工作提供重要参考。

2 矿床地质特征

五圩矿田位于丹池多金属成矿带南端(图1)。区内出露的地层为下泥盆统塘丁组(D₁t)—中三叠统(T₂b);其中赋矿层位为下泥盆统塘丁组条带状绢云

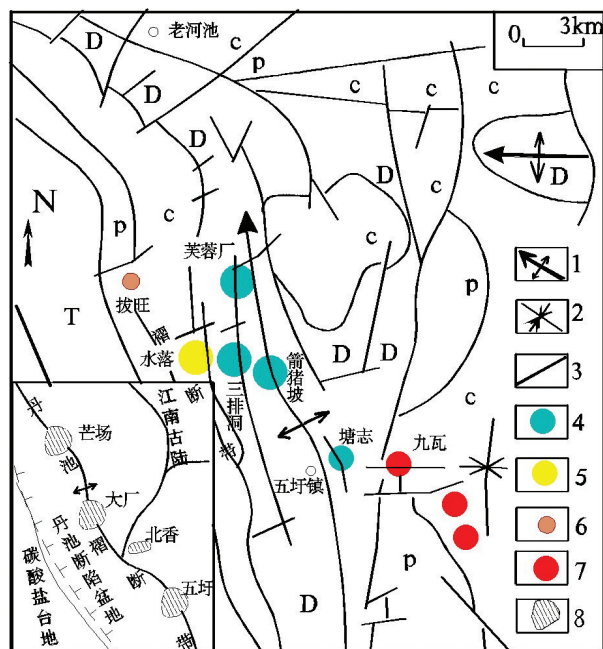


图1 五圩矿田区域地质简图

T—三叠系(粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、灰岩);P—二叠系(灰岩、凝灰岩、硅质岩);C—石炭系(条带灰岩、微晶灰岩、泥岩);D—泥盆系(泥岩、灰岩、硅质岩);1—背斜轴;2—向斜轴;3—断裂;4—铅锌锑银矿床;5—砷汞铅锌锑银矿床;6—锑矿点;7—汞矿床(点);8—矿田

Fig.1 Regional geologic map of Wuxu mining area

T—Triassic system (silty mudstone, argillaceous siltstone, limestone); P—Permian System (Limestone, Tuff, Siliceous Rock); C—Carboniferous system (banded limestone, microcrystalline limestone, mudstone); D—Devonian System (Mudstone, Limestone, Siliceous Rock); 1—Anticlinal Axis; 2—Synclinal axis; 3—Fracture; 4—Pb—Zn—Sb—Ag deposit; 5—Arsenic—mercury—lead—zinc—antimony—silver deposit; 6—Antimony ore site; 7—Mercury deposit (spot); 8—Ore field

母泥岩夹砂岩(箭猪坡矿床),中泥盆统罗富组泥灰岩(三排洞—芙蓉厂矿床),上泥盆统榴江组、五指山组硅质岩。区域构造较为复杂,主要由五圩复式背斜及一系列以NNW向为主的张扭性断裂组成。北北西走向断裂带是五圩矿田内最发育的一组构造形迹,呈帚状构造的形态,向北北西向(箭猪坡—芙蓉厂)逐渐撒开,在花洞南东向成逐渐收敛状态,断裂带控制着区域矿化带的形成与发育。区域上未见岩浆岩出露。

箭猪坡矿床范围内出露的地层为下泥盆统塘丁组第一段和第二段,其中以第二段为主,该段为灰黑色条带状及薄层状绢云母泥岩;矿床内发育了两组断裂,一组为北北西向张扭性断裂,第二组为北北东向扭性断裂。在矿区范围内未见到岩浆岩出露。

箭猪坡矿床矿体主要受北北西向构造破碎带和断裂的控制,呈脉状、细网脉状,条带状充填在断裂带中或节理裂隙中,沿矿体走向和倾向分支复合、尖灭再现和尖灭侧现的现象均有出现。矿石中金属矿物主要有硫化物(铁闪锌矿、闪锌矿、辉锑矿)、硫酸盐矿物(脆硫锑铅矿等),碳酸盐矿物(含锰菱铁矿、含铁菱锰矿),非金属矿物主要有石英、方解石等(刘伟,2013)。箭猪坡矿床成矿阶段划分为3个阶段,即石英—硫化物阶段(I)、石英—硫酸盐—多硫化物阶段(II)和锑硫化物—石英—铁锰碳酸盐阶段(III),第II成矿阶段为主要成矿阶段(刘伟等,2015)。

3 地球物理特征

本次研究工作选用的物探工作方法有瞬变电磁测量(TEM)、可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)。物探测线布置图见图2。

可控源音频大地电磁法(CSAMT)是在大地电磁法(MT)和音频大地电磁法(AMT)基础上发展起来的一种方法。可控源频率测深方法具有勘探深度范围大(通常可达2 km)、分辨能力强、观测效率高,兼有测深和剖面研究双重特点,是研究深部地质构造和寻找隐伏矿的有效手段,越来越多应用于受构造控制的脉状金属矿床的找矿工作。通过可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)测量,探索箭猪坡矿床深部隐伏构造的空间形态。

磁瞬变电磁法(TEM)是基于电性差异,利用不

接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲电场,利用线圈或接地电极观测二次涡流场或电场的方法。该方法具有穿透低阻覆盖的能力,故探测深度大。在低阻围岩地区地形的起伏仅对早期道有影响,这种影响又是易于分辨的。瞬变电磁法异常响应强,多测道曲线形态简单,分层能力较强。工作效率高,同时完成剖面测量与测深工作。通过瞬变电磁测量(TEM),查明构造和矿(化)体空间展布特征。

3.1 矿区岩(矿)石物性特征

在物探方法工作前,先对矿区内的主要岩矿石进行物性参数取样分析。矿区内出露的主要岩石划分为5类,围岩划分为7类。每类岩(矿)石进行系统的物性参数取样。所采集标本均来自新鲜露头及坑道,大小约10 cm×10 cm×10 cm,使用测试方式为强迫电流法,获得岩矿石标本的电阻率参数,使用GDD型标本测试仪,测定结果如表1所示。根据表1,矿区内与低阻因素有关的是断裂破碎带、矿化蚀变及炭质岩层,因此,圈定低阻异常区是本次电法工作的重点。

(1) 密度特征

区域出露的地层从下泥盆统塘丁组至中三叠统均有,是高密度层,以泥岩、碳酸盐岩为主,其岩性主要有泥岩、白云质泥灰岩、泥质粉砂岩、炭质泥

岩、硅质泥岩、泥灰岩、白云岩、硅质岩、硅质灰岩、生物碎屑灰岩等,以上岩性密度值相对较高且较为稳定,一般为2.71 g/cm³左右。

根据实测及前人的资料,五圩矿区的各类岩石中,以松散的砂岩、砾岩等密度最低,一般为2.48 g/cm³,这些岩层的厚度不大;泥岩、碳酸盐岩建造为主的岩层,其厚度可达数千米,密度平均值为2.71 g/cm³,构成高密度背景;花岗岩类岩石密度平均值为2.61 g/cm³,与泥岩、碳酸盐岩为围岩的密度存在0.1 g/cm³左右的差异,当花岗岩体具有一定规模时,可以引起重力低异常。

(2) 电性特征

矿床中岩石在宏观上电阻率 ρ 与电极化率 η 呈负相关,即 η 增大, ρ 有减小的趋势。矿床中的炭质泥岩、钙质泥岩具有“低电阻率”特征,电阻率常见为 $5.2 \times 10^1 \sim 5.1 \times 10^2 \Omega \cdot m$,最大为 $3.9 \times 10^3 \Omega \cdot m$,而矿床中方解石、白云岩、硅质泥岩、灰岩具有“高电阻率”特征,电阻率常见为 $4.1 \times 10^3 \sim 7.3 \times 10^5 \Omega \cdot m$,最大为 $9.8 \times 10^5 \Omega \cdot m$ 。含矿岩石具有低电阻、高极化率、高密度特征。矿床围岩普遍具有中高电阻率、低极化率、中等密度特征。矿区内炭质泥岩普遍发育,其具有低电阻率、高极化率特征,且具有成层出现的特点,其矿石与围岩存在较明显的电性差异,

表1 五圩铅锌锑矿岩石的物性特征

Table 1 Physical properties of Wuxu Pb-Zn-Sb ore and rocks

岩性	电阻率/($\Omega \cdot m$)		极化率/%		密度/(g/cm ³)		磁化率/($\kappa \cdot 4\pi \cdot 10^{-6}SI$)		剩余磁化强度/($Jr \cdot 10^3 A/m$)		
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	
硅质泥岩	$4.9 \times 10^4 \sim 6.5 \times 10^4$	5.70×10^4	1.10~1.30	1.20	2.45~2.86	2.65	-2.46~-9.56	1.00	0.80~26.93	2.88	
碳质泥岩	$1.6 \times 10^4 \sim 1.08 \times 10^3$	5.20×10^4	4.10~21.7	18.50	2.14~2.86	2.64	1.56~13.24	7.40	0.93~14.87	4.52	
钙质泥岩	$4.3 \times 10^4 \sim 3.9 \times 10^3$	5.10×10^2	3.9~25.5	7.93	2.32~2.94	2.85	6.81~12.10	9.24	0.57~1.21	0.64	
围岩	灰岩	$1.01 \times 10^5 \sim 9.3 \times 10^3$	5.20×10^3	1.5~6.50	2.30	2.64~2.98	2.72	-1.32~0.6	-1.05	0.56~0.99	0.71
	泥灰岩	$9.6 \times 10^2 \sim 1.4 \times 10^4$	4.10×10^3	1.7~21.2	8.40	2.57~2.70	2.68	2.83~8.17	5.50	2.63~3.53	3.06
	白云岩	$2.5 \times 10^3 \sim 3.1 \times 10^4$	2.10×10^4	0.26~1.85	0.95	2.73~2.85	2.76	-0.96~1.43	0.26	1.14~1.80	1.47
	方解石	$5.4 \times 10^4 \sim 9.8 \times 10^5$	7.30×10^5	0.43~0.89	2.80	2.63~2.85	2.75	-2.32~3.66	1.15	0.46~1.96	0.78
	砂岩	$6.9 \times 10^3 \sim 1.65 \times 10^5$	8.70×10^4	1.90~3.30	2.10	2.55~2.76	2.63	6.46~190.56	15.00	1.80~26.92	6.88
	花岗岩	$1.1 \times 10^3 \sim 9.9 \times 10^4$	1.10×10^4	0.59~2.57	1.20	2.38~2.98	2.61	-1.33~6.63	2.65	1.61~3.17	2.39
	含黄铁矿辉锑矿闪锌矿方解石脉	$3.3 \times 10^1 \sim 4.5 \times 10^2$	2.10×10^2	18.4~26.10	20.40	2.70~2.89	2.80	1.10~120.16	25.20	1.20~22.12	8.80
含矿	含黄铁矿石英细脉	$0.48 \times 10^0 \sim 4.5 \times 10^1$	10.60	10.5~32.40	23.80	2.75~3.10	2.87	0.46~90.06	10.00	0.80~20.90	6.40
	含辉锑矿黄铁矿石英细脉	$1.8 \times 10^1 \sim 4.4 \times 10^2$	2.30×10^2	6.9~12.30	8.90	2.73~2.91	2.83	10.40~100.80	15.80	2.10~36.10	6.08
	球状风化黄铁矿	$1.3 \times 10^0 \sim 1.28 \times 10^2$	1.05×10^2	12.9~23.10	17.70	2.70~2.93	2.78	0.46~290.10	35.80	1.90~56.12	16.30
	闪锌矿、辉锑矿石	$0.7 \times 10^1 \sim 1.4 \times 10^2$	1.10×10^2	25.8~28.50	27.30	2.76~2.98	2.87	1.46~90.10	12.94	1.75~26.65	8.56

注:极化率测试参数,延时240 ms,采样宽度40 ms。

为电磁法测量工作提供了有利条件。

(3) 磁性特征

工作区内绝大部分岩石为无磁性或弱磁性,花岗岩呈弱磁性,一些矿石含有少量磁性矿物磁性相对较强,但仍呈弱磁性。

3.2 可控源(CSAMT)特征

结合矿床地质特征,笔者在五圩箭猪坡矿床开展了可控源剖面测量工作(位置见图2),试验剖面有3条,测量方位线与勘探线方位一致为 80° ,点距40 m。投入本次工作的仪器为GDP-32"多功能电磁仪。工作选择的是GGT-30大功率(30 kAV)发射机,工作频率:DC~8 kHz;最大输出功率:30 kW;最大输出电流:30 A;最高输出电压:1000 V;关断时间: $\leq 125 \mu\text{s}$;稳流精度:0.1%;同时配合工作的是一个ZMG-10(10 kW)发电机。CSAMT资料反演软件是GDP-32"机器所带的带地形平面波反演软件SCS2D。

本次CSAMT工作各技术参数如下:工作频率:1~8192 Hz。发射系统:供电偶极子长度 $AB=1000 \text{ m}$;方位角 117° ,偶极子中心与测线中心偏差 $< 15^\circ$ 。收发距 R 最小为7 km,最大为12.7 km;基本电流大于6 A,1024 Hz以下频率电流大于8 A。供电线使用耐高压、大电流的电缆线,供电极则将大张铝箔置于挖好的坑中埋好,并将盐水浇于其中。接收系统:采用一个磁道带两个电道测量方式。测量电偶极子长度 $MN=40 \text{ m}$ 。接收电极使用不极化电极,稳固地置于土中20~30 cm,并浇入盐水。观测数据叠加次数为32~16384次,数据离差 $SEM < 20$ 时,方可认定为可靠数据,并将其记录。

由图3(317线CSAMT测深)可以看出,物探CSAMT测深曲线圆滑,其卡尼亚电阻率均方相对误差为5.783%;大于200 mrad的阻抗相位均方相对误差为8.698%,小于200 mrad的阻抗相位均方误差为40.997 mrad,测量结果为I级精度。根据测区岩石电性特征,矿区内与低阻因素有关的是断裂破碎带、矿化蚀变及炭质岩层,由此圈定低阻异常区是本次电法工作的重点。根据电阻率剖面结果,反演的低阻异常,对应的阻抗相位高值异常,因此低阻异常可信度高。

以317号勘探线剖面图为例(图4)。选取该线的3160~4520点号,作为反演剖面,长度1.36 km,

317线低阻异常及推断解释见图4,其特征如下:3840~4080号点范围存在⑤号低阻异常,电阻率低于 $100 \Omega \cdot \text{m}$,呈带状分布,异常上窄下宽,向东倾斜,延深约1200 m,⑤号低阻异常位于下泥盆统塘丁组第二岩性段(D_1t^2),主要为灰—深灰色中薄层泥岩夹深灰色中薄层条带状泥岩,局部夹有薄层砂岩透镜体和砂质泥岩,岩石中普遍见有浸染状黄铁矿,该岩性段为矿区主要含矿层位。已知含矿破碎带 F_3 及 F_7 位于⑤号低阻异常边部或异常内,且有钻孔ZK317-1揭露,其破碎带产状与⑤号低阻异常形态一致,推测⑤号低阻异常是由含矿破碎带 F_3 和 F_7 引起。目前钻孔只揭露了含矿破碎带 F_3 及 F_7 浅部垂深200 m范围的情况,从电阻率剖面图看出,⑤号低阻异常往深部延深至标高-700 m,说明含矿破碎带 F_3 及 F_7 往深部仍有延伸,该异常深部仍具有较大的找矿空间。

从以上结果看出,CSAMT法探测深度大,对断裂构造反应较灵敏,在五圩矿田可以取得较好的找矿效果。

3.3 瞬变电磁特征

本次TEM法采用重叠回线装置(接收线圈 R_x 和发送线圈 T_x 相重合敷设的装置),发射和接收线圈均为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$,网度为 $100 \text{ m} \times 50 \text{ m}$;通过试验应采用1 Hz和4 Hz作为发射基频,观测参数为归一化的感应电动势,单位为 $\mu\text{V}/\text{A}$ 。本次使用仪器为重庆奔腾数控技术研究所研制的WTEM-1瞬变电磁仪。以箭猪坡矿床320号勘探线剖面为例(测线分布见图2),运用一维电阻率反演(图5),结合地质特征分析得出:通过320线多测道剖面图可见,在23~34点之间存在凸起异常,与相对低阻异常吻合较好,从形态上看,呈脉状,表明在中深部存在导电性较好的脉状地质体,反映了中深部硫化物矿(化)体的存在。从电阻率反演图中可以得出,标高200~300 m,异常带晕为一个呈现倾向东的低阻带,电阻率值一般小于 $100 \Omega \cdot \text{m}$,多为 $0 \sim 50 \Omega \cdot \text{m}$,倾角为 $50 \sim 60^\circ$,与高阻区域区别明显,且该异常带由近地表往深部有变宽的趋势。该地段构造发育,结合矿区岩矿石物性特征及矿区的地质特征推测为含金属硫化物的岩(矿)石引起的异常。通过在地表实施探槽及钻孔(ZK320-2、ZK320-3、ZK320-4、ZK320-5)验证,均揭露到含黄铁矿化的

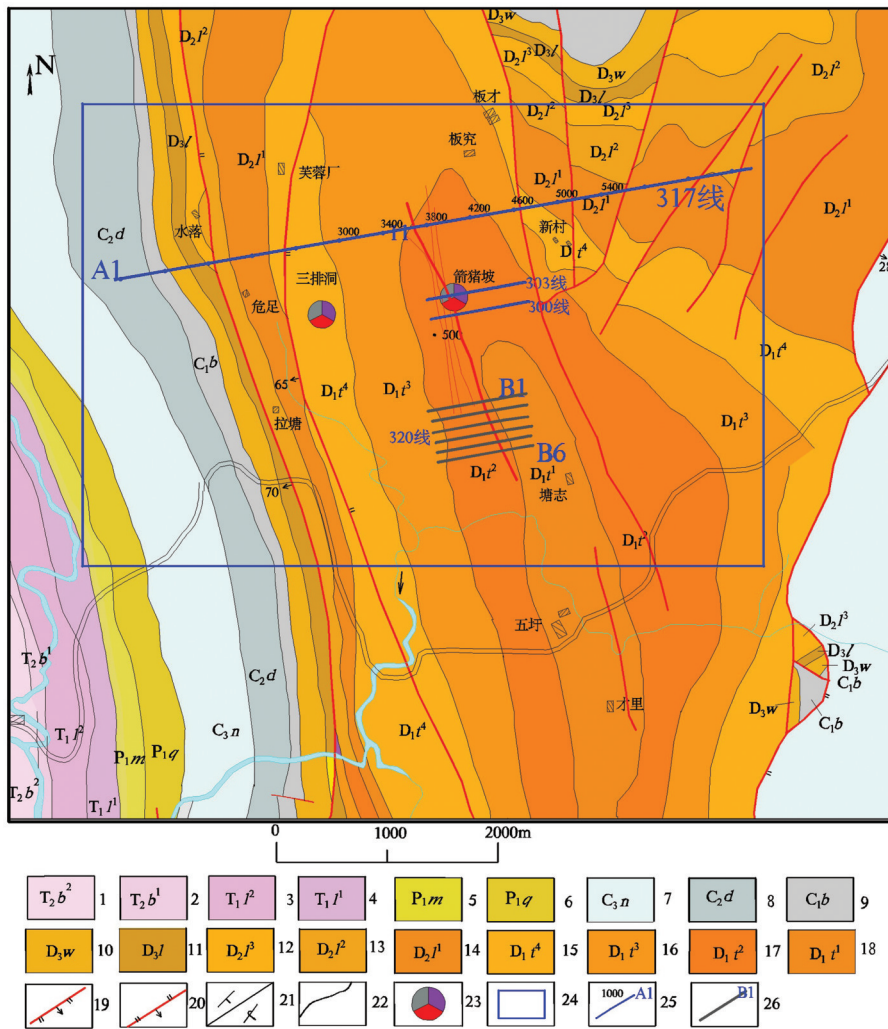


图2 箭猪坡矿床物化探工作测线分布图

1—三叠系百逢组中段(细砂岩、泥质粉砂岩);2—三叠系百逢组下段(含粉砂质泥岩夹凝灰质泥岩);3—中三叠统罗楼组上段(粉砂质泥岩夹灰岩);4—中三叠统罗楼组下段(粉砂质泥岩);5—下二叠统茅口组(燧石条带灰岩);6—下二叠统栖霞组(灰岩、泥灰岩、硅质岩);7—上石炭统南丹组(硅质条带灰岩、微晶灰岩);8—中石炭统大埔组(白云岩、含生物硅质条带灰岩);9—下石炭统巴平组(泥岩、硅质泥岩);10—上泥盆统五指山组(灰岩);11—上泥盆统榴江组(硅质岩、硅质灰岩、灰岩);12—中泥盆统罗富组上段(泥质灰岩、生物碎屑灰岩);13—中泥盆统罗富组中段(泥灰岩夹泥岩);14—中泥盆统罗富组下段(钙质泥岩、泥灰岩);15—下泥盆统塘丁组四段(泥岩);16—下泥盆统塘丁组三段(泥岩、粉砂质泥岩);17—下泥盆统塘丁组二段(泥岩夹砂质泥岩);18—下泥盆统塘丁组一段(泥岩);19—实测正断层;20—实测逆断层;21—岩层产状;22—地质界线;23—大型梯多金属;24—工作区范围;25—可控源测量测线及编号;26—瞬变电磁测量、地电化学测量、土壤地球化学测量测线

Fig.2 Distribution of geophysical and chemical detection lines in Jianzhupo Deposit

1—Middle of Triassic Baifeng Formation (fine sandstone and argillaceous siltstone); 2—Lower of Triassic Baifeng Formation (silty mudstone mixed with tuffaceous mudstone); 3—Upper of Middle Triassic Luolouzu Formation (silty mudstone mixed with limestone); 4— Lower of Middle Triassic Luolou Formation (silty mudstone); 5—Lower Permian Maokou Formation (flint banded limestone); 6—Lower Permian Qixia Formation (limestone, marl, siliceous rock) ; 7—Upper Carboniferous Nandan Formation (siliceous banded limestone) Microcrystalline limestone); 8—Middle Carboniferous Dapu Formation (dolomite, siliceous banded limestone); 9— Lower Carboniferous Baping Formation (mudstone, siliceous mudstone); 10— Upper Devonian Wuzhishan Formation (limestone) ; 11—Upper Devonian Liujiang Formation (siliceous rock, siliceous limestone, limestone); 12—Middle Devonian Luofu Formation upper member (argillaceous limestone, Bioclastic limestone); 13— Middle of Middle Devonian Luofu Formation (marl with mudstone); 14—Lower Devonian Luofu Formation (calcareous mudstone and marl); 15—Lower Devonian Tangding Formation 4 (mudstone); 16— Lower Devonian Tangding Formation 3 (mudstone, Silty mudstone); 17—Member 2 of Lower Devonian Tangding Formation (mudstone mixed with sandy mudstone); 18—Member 1 of Lower Devonian Tangding Formation (mudstone) ; 19—Measured normal fault; 20—Measured reverse fault; 21— Strata occurrence; 22—Geological boundary; 23—Large antimony polymetallic; 24—Scope of work area; 25—Controlled source measuring line and No; 26—Transient electromagnetic measuring line, geoelectrochemical measuring line and soil geochemical measuring line

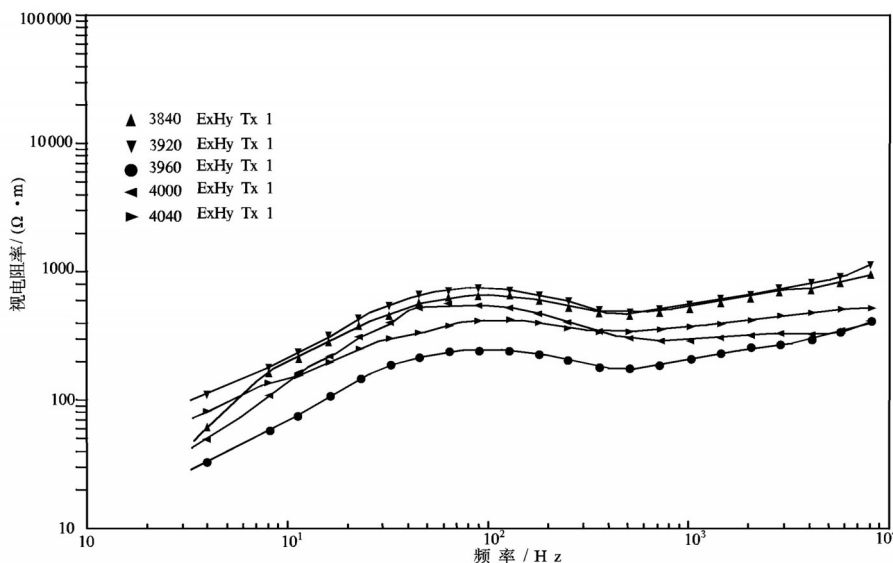


图3 箭猪坡矿床CSAMT测深视电阻率曲线图

Fig.3 Apparent resistivity curve of CSAMT sounding in Jianzhupo Deposit

硅化破碎带或矿(化)体,已知硅化破碎带或矿(化)体,均分布在电阻率低阻区。

4 地球化学特征

4.1 土壤地球化学特征

在箭猪坡矿区开展了土壤剖面地球化学测量工作,以箭猪坡矿床320号勘探线剖面为例,结果显示矿区土壤地球化学主成矿元素Pb、Zn、Sb异常与隐伏矿体(含矿破碎带)的分布范围相一致,各异常同步性较好,并且有很好的重叠性。Pb最高值为 97.4×10^{-6} ,异常带Pb均值大于 65×10^{-6} ;Zn最高值为 255.9×10^{-6} ,异常带均值大于 220×10^{-6} ;Sb最高值为 154.8×10^{-6} ,异常带均值大于 90×10^{-6} ;推测异常由破碎带(含矿)引起,并经钻探工作验证,在钻孔中见到真厚0.71m, Zn品位5.05%的锌矿体(钻孔ZK320-2、J144)。

4.2 地电化学特征

地电化学提取方法是将地球物理、地球化学及电化学交叉为一体的综合找矿方法,该方法利用电场作用,选择性提取近地表介质中的电活动物质,通过研究电提取元素组合、含量分布及异常特征,进而提供找矿信息的一种勘查方法。而大量的找矿勘探实践证明,地电化学勘探新技术、新方法能够发现500 m以下,其中包括150~200 m浮土以下的有色金属矿床、贵金属矿床、稀有金属矿

床。在箭猪坡矿床南端开展了6条地电化学剖面测量工作(测线分布见图2),方位线与勘探线方位一致为 80° ,点距一般20 m,以320号勘探线剖面地电化学特征为例(图5);地电化学异常与隐伏矿体或含矿破碎带的分布吻合度高,即矿体的分布范围与地电化学综合异常范围一致,异常分布的规模、强度与含矿破碎带规模呈正比关系。矿体产出均较陡,倾角 $75^\circ \sim 80^\circ$,异常为多个异常点组成的“驼峰”或者“倒钟”形态,在地表矿头对应部位附近有异常峰。Pb、Zn、Sb元素异常规模大、强度高,异常同步清晰,因此Pb、Zn、Sb可以作为本区地电化学方法寻找隐伏锌矿的指示元素。当出现Pb、Zn、Sb为主异常时,则显示深部具有隐伏矿体(矿化)存在的可能性。经钻探验证,ZK320-2、ZK320-4、ZK320-5钻孔均揭露到了含锌锑的矿体及富含黄铁矿的硅化破碎带,亦说明地电化学能很好的圈定金属硫化物异常。

5 综合找矿模型特征

根据箭猪坡矿床地质特征、地球物理特征、地球化学特征,总结了该矿床地质、地球物理、地球化学的找矿标志(表2),并建立了矿床的地质-化探-物探找矿模型(图6),实质是反映化探特征、物理特征与地质构造、矿体的空间关系。

从矿床成矿条件分析,箭猪坡矿床矿体赋存在

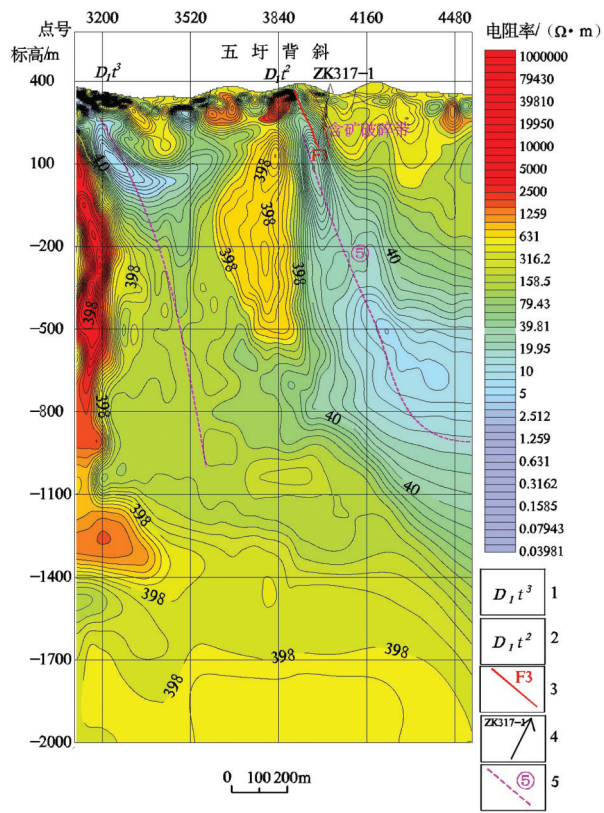


图4 箭猪坡矿床317号勘探线电阻率剖面与推断解释剖面图
1—泥盆系下统塘丁组第三段;2—泥盆系下统塘丁组第二段;3—断裂;4—钻孔;5—电阻率异常带

Fig.4 Resistivity profile and inferred interpretation profile of 317 geological profile in Jianzhupo Deposit
1-Third Member of Tangding Formation of Lower Devonian system;
2-Second Member of Tangding Formation of Lower Devonian system;
3-Fault;4-Drill hole;5-Resistivity anomaly band

断裂构造中,矿体形态呈脉状、透镜体状,空间分布具有斜列状,叠瓦状排列等。区内矿体具有明显的低阻异常,表现为低电阻率特征,且瞬变电磁反演断面图与硅化破碎带及地质内容吻合较好。

模型的地质特征:矿体受层位控制,控矿层位为下泥盆统塘丁组沉积建造,因构造变形,控矿层位位于褶皱翼部,产状一般较陡;近矿围岩蚀变发育范围有限,蚀变类型有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化等。矿体形态以陡产状脉状、细脉状、透镜状为主,倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$,厚度 $0.1 \sim 4.5$ m不等,最大10.72 m,矿石类型分致密块状和条带状;矿石以金属硫化物为主,并含硫盐矿物;矿床类型属低温热液充填型。

模型的地球物理特征:以工业矿体为中心的矿

化系统,具有低电阻率,稍高密度,高极化率特征。

模型的地球化学特征:常规土壤异常较小或无异常,而地电化学异常能较清晰地反映盲矿体成矿元素的异常,且各元素间连续性较好,异常的分布范围与深部盲矿体的垂直投影基本一致,通过钻孔揭露,能较准确的反映深部埋藏盲矿体(矿化体)的分布范围。

6 讨论

(1)通过近几年的找矿勘查,在箭猪坡矿床,矿带走向延伸控制总长度为1400 m,并根据物探可控源测量结果,经钻探工程控制,在标高为 $-300 \sim -400$ m)仍能见到矿体,从而扩大了该区的找矿空间,在该矿带南、北两个延伸方向及东部矿体倾向延深方向都是寻找隐伏矿体的有利部位,勘查平面图、剖面图等资料表明矿体的倾向延深和南北走向延伸还未完全控制,尚有较大找矿空间。而且随着深部石英脉型锡矿体的发现,为该矿区增加了新的找矿方向。

(2)矿区中局部构造陡倾或直立,且构造中有炭质、硅质等围岩,具有极低或极高的电阻率,故引起了CSAMT测量反演结果出现电阻率非常大和非常小的值。

(3)受整个区围岩炭质泥岩背景影响,该区矿化不均匀,极化率值波动较大,矿区未采样激发极化法,其还难以识别矿异常和非矿异常。

因此,对于箭猪坡矿床成因需要加强研究,勘查模型需要逐步完善,找矿方法手段的选择也需要不断探索。

7 结论

物化探工作是目前找矿工作中的重要手段。在充分分析、深入研究物化探成果特征,选出与成矿有关的异常范围,尤其是物化探重叠异常范围,再以地质条件为基础,化探信息为先导,选取地质、化探、物探等成矿有关的综合信息标志重叠的地区或地段,是寻找成矿有利地段的保障。

(1)物探研究表明:CSAMT出现的所有低阻异常,均具有找矿意义。这类低阻异常范围、形态大致反映矿(化)脉组在空间的展布特征,为深部勘查工程布置提供了重要依据;CSAMT异常显示该区

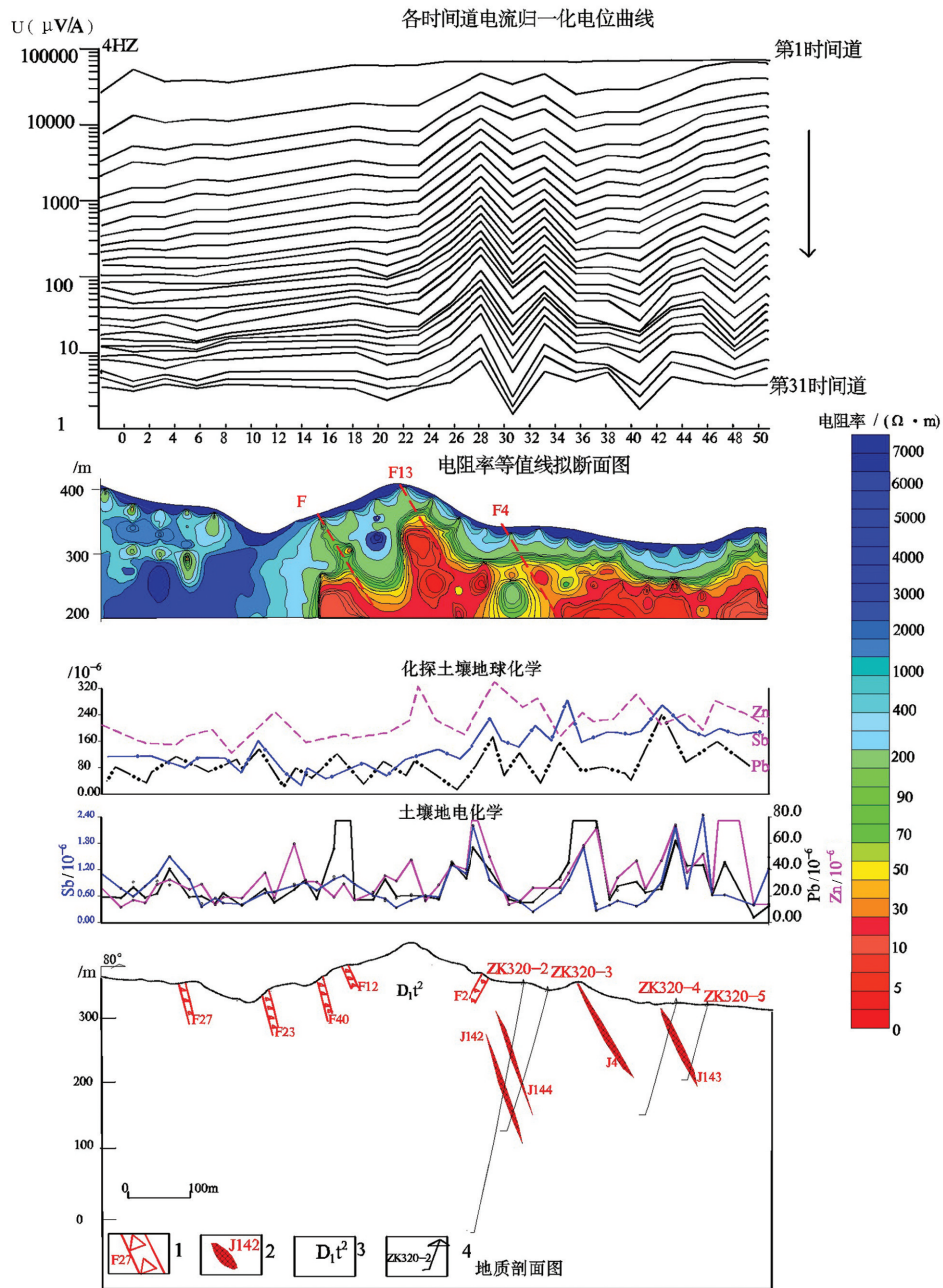


图5 箭猪坡矿床320号勘探线地质-物探(TEM)-化探(地电化学)综合剖面图

1—构造破碎带;2—铅锌锑矿体;3—下泥盆统塘丁组第二段;4—钻孔

Fig.5 Electrogeochemical comprehensive profile of 320 exploration line in Jianzhupo Deposit

1-Tectonic fracture zone;2-Lead-zinc-antimony ore body;3-Second member of Tangding Formation of Lower Devonian system;4-Drill hole

往南北两端仍具有较大的找矿空间,中深部层状低阻异常出现在较低标高,均具有较大规模,且没有完全控制,这类异常推测与炭质层或新类型矿化有关。瞬变电磁表明:矿(化)体多分布在归一化电位高值区或低电阻率区,已知构造主要分布在归一化电位较高值区域或较低电阻率区和电位梯度带,已知矿化体与物探异常特征吻合较好。

(2)常规的化探次生晕及地电化学研究表明:地电化学异常在已知矿体上方有比较清晰的Pb、Zn、Sb元素异常,为典型的共生组合元素,它们之间也存在良好的正相关关系,说明这些元素组合可以作为找矿指示元素,在该地区利用地电化学在该地区寻找隐伏矿,方法是可行的。化探次生晕Sb、Pb、Zn等元素套和较好,异常特征相近,可以作为寻找

表2 箭猪坡矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志
Table 2 Geological-geophysical-geochemical prospecting criteria of JianZhuPo Deposit

标志类型	找矿标志或信息	
地层	塘丁组是锑锌铅主要矿源层	
构造	北北西向断裂构造为主要控矿因素	
岩浆岩	推测矿区北东深部有隐伏岩体,对铅锌锑成矿有利	
围岩蚀变	硅化、黄铁矿化、绢云母化	
地质	矿化特征	锑矿化为主,锌铅矿次之,矿体形态呈脉状,透镜状产出,矿石构造主要脉状构造、条带状构造、致密块状构造,矿石结构主要有他形粒状结构、半自形——自形粒状结构
	赋矿部位	赋存与构造破碎带中
	主要矿石矿物	硫化物主要有闪锌矿、辉锑矿、方铅矿、黄铁矿; 硫盐类矿物主要为脆硫锑铅矿; 氧化物类矿物有锡石、石英
	直接找矿标志	铁帽, 裸露地表的硫化物矿脉
地球物理	探测目标体	矿化构造带
	目标体物性特征	低电阻率: <math><100 \Omega \cdot m</math>
	地表异常特征	低电阻率值(构造隐伏)
	干扰异常	含碳质泥岩
地球化学	探测目标体	矿化异常带
	目标体物性特征	地电化学: $Zn > 36.9$ 、 $Pb > 34.2$ 、 $Sb > 0.87$; 土壤地球化学 $Zn > 220$ 、 $Pb > 65$ 、 $Sb > 90$ 单位: 10^6
	地表异常特征	主要成矿元素 Zn 、 Pb 、 Sb 异常规模较大, 三级浓度分带较明显, 其中已知矿体上方异常均椭圆状, 整体走向NNW向
	干扰异常	冶炼废渣

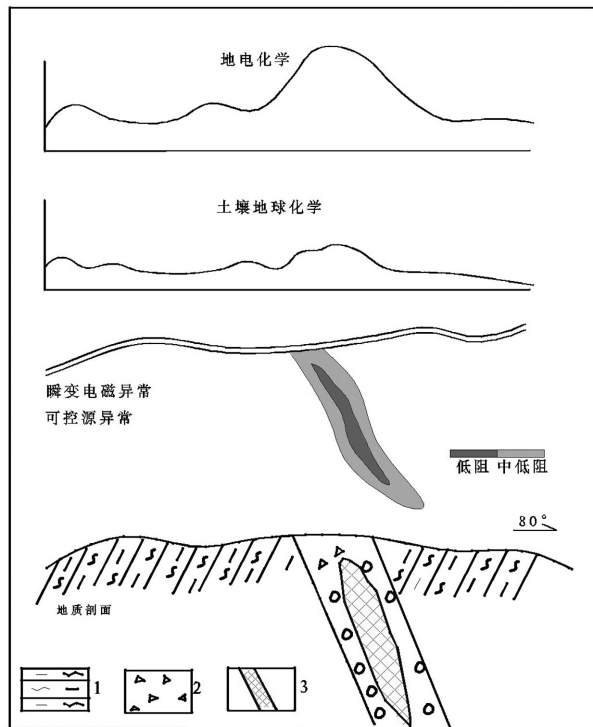


图6 箭猪坡矿床地质-地球化学-地球物理找矿模型
1—条带状泥岩; 2—破碎带; 3—矿(化)体
Fig.6 Prospecting model of geological-geochemical-geophysical in JianzhuPo Deposit
1-Ribbon mudstone; 2-Broken belt; 3-Mineralized bodies

本区矿区的主要指示元素,进而推断矿体存在的大致位置和特征。

综上所述,可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法、土壤地球化学、地电化学在异常区和非异常区有效性明显,利用这四种集成方法对深部勘查预测具有良好的找矿效果,达到技术集成示范,值得在类似的矿床中应用。

References

Cheng Yuan, Qin Xi, Zhao Xiaoxiao, Wang Yaosheng, Qin Xueye, Song Shuangquan, Niu Yao, Cui Xiaoling. 2018. Geophysical field characteristics and comprehensive information prospecting model of Mo-Pb-Zn-Ag polymetallic ore concentration area in Eastern Qinling [J]. *Geology and Exploration*, 54(4): 747-761(in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Zhu Yusheng. 1993. *Metallogenic Model of Chinese Deposits* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-367(in Chinese with English abstract).

Cai Jianming, Xu Xinhuang, Li Baohua. 1995. Study on geochemical characteristics of inclusions in Wuxu polymetallic ore field [J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, (1): 69-77(in Chinese with English abstract).

Cai Jianming, Xu Xinhuang, Liu Wenzhou. 1995. Metallogenic characteristics and material sources of polymetallic deposits in Wuxu ore field in Guangxi [J]. *Journal of Mineralogy and*

- Petrology, (3): 63–68(in Chinese with English abstract).
- Diao Lipin, Wang Zhonggui, Wu Bangji, Xie Xiaoyong. 2017. Information analysis and optimization of ore targets in the Dushan antimony ore concentration area, Guizhou Province[J]. *Geology in China*, 44(4): 793–809(in Chinese with English abstract).
- Huang Qixun. 1994. Concealed granite in Guangxi and its prospecting significance[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 18(1): 61–70(in Chinese with English abstract).
- Jiang Shaoqing, Sun Xingguo, Yang Tiezheng, Li Li, Yin Xianbo, Wang Ce, Pan Yanbing. 2014. Integrated anomaly model and metallogenic prediction of the Duolong porphyry copper–gold ore concentration area in northern Tibet[J]. *Geology in China*, 41(2): 497–509(in Chinese with English abstract).
- Li Yanjun, Wei Junhao, Li Huan, Cheng Chong, Shan Liang, Hou Benjun. 2014. Geological, geophysical and geochemical characteristics and comprehensive prospecting model of the Xiasai Ag–Pb–Zn deposit in the Yindun Island Arc[J]. *Geology in China*, 41(5): 1636–1649(in Chinese with English abstract).
- Liang Ting, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Cai Minghai. 2008. *Geology and Geochemistry of Dachang Tin Polymetallic Deposit in Guangxi*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–175(in Chinese with English abstract).
- Liu Jianxin, Guo Zhenwei, Guo Rongwen, Tong Xiaozhong, Tong Tiegang. 2009. Application of controlled source audiomagnetotelluric and gravity methods to surveys in the lionlake hot geothermal area[J]. *Progress in Geophysics*, 24(5): 1868–1873(in Chinese with English abstract).
- Liu Wei, Hu Qiaofan, Xu Wenjie, Tao Mingrong. 2013. Analysis of ore–controlling structural characteristics of Jianzhupo Pb–Zn–Sb deposit in Wuxu ore field of Hechi, Guangxi [J]. *Geological Survey and Research*, 36(4): 289–294(in Chinese with English abstract).
- Liu Wei, Hu Qiaofan, Li Mingjun, Xiao Liuyang. 2014. Ore–controlling structural characteristics and mineralization enrichment regularity of Jianzhupo Lead–Zinc–Antimony Deposit in Hechi, Guangxi [J]. *Mineral Deposits*, 33(S1):715–716(in Chinese with English abstract).
- Liu Wei, An Yuwei, Hu Qiaofan, Zhou Shouyu, Li Li, Tao Mingrong. 2015. Analysis of multi–stage mineralization characteristics of jianzhupo lead–zinc–antimony deposit in Hechi Wuxu, Guangxi [J]. *Mineral Resources and Geology*, 29(2): 215–220(in Chinese with English abstract).
- Luo Xianrong. 1996. *Geoelectrochemical Exploration and Deep Prospecting* [M] Beijing: Metallurgical Industry Press, 134–147(in Chinese with English abstract).
- Luo Xianrong, Kang Ming, Ouyang Fei, Wen Meilan, Hou Baohong. 2007. Study on Mechanism and Method of Geoelectrochemical halo formation [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Piao Huarong. 1990. Principles of Electromagnetic Sounding Method[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract)
- Shen Yuanchao, Li Guangming, Li Shenzhi, Xie Hongyuan, Zeng Qingdong. 2000. Application of geoelectrochemical parameter method in deep location prediction of gold deposits [J]. *Geological Science and Technology Information*, (1): 97–100(in Chinese with English abstract)
- Wang Dayong, Li Tonglin, Gao Yuan, Fang Hangzhen, Zhao Guangmao. 2009. Application of CSAMT and TEM methods in concealed ore exploration in Longhushan area of Tongling [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(6):1134–1140(in Chinese with English abstract)
- Wang Wenzhong, Ma Guolin, Liu Jidong. 2011. Application of transient electromagnetic apparent longitudinal conductivity imaging in searching for deep buried metal ores [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 35(4): 473–476(in Chinese with English abstract)
- Wang Yaosheng, Liu Shenfen, Wang Junhe, Qin Xueye, Liu Guoqing, Cui Xiaoling. 2018. Geophysical field characteristics and deep ore prospecting prediction of the Nannihu molybdenum lead–zinc–silver polymetallic ore field in East Qinling Mountain[J]. *Geology in China*, 45(4): 803–818(in Chinese with English abstract).
- Xu Xinhuang, Cai Jianming, Chen Hongde, Liu Wenzhou, Li Xiaoquan, Wang Xiangcheng. 1991. Geological and geochemical characteristics and mineralization of tin polymetallic deposits in the Danchi ore belt in Guangxi[J]. *Journal of Chengdu Institute of Geology*, 18(4): 12–25(in Chinese with English abstract)
- Yu Qihong, Liu Wei, Ding Rufu, Hu Qiaofan, Zhou Shouyu. 2017. Electrochemical characteristics and prospecting prediction of huadong zinc deposit in Wuxu, Hechi, Guangxi[J]. *Mineral Exploration*, 8(5): 894–901(in Chinese with English abstract)
- Zhang Cheng. 2000. Division of tectonic stress field and discussion of force sources in Wuxu Ore Field of Hechi, Guangxi [J]. *Guangxi Geology*, (2): 7–10(in Chinese with English abstract).
- Zhong Fujun, Pan Jiayong, Xia Fei, Zhang Yong, Liu Guoqi, Liu Ying. 2017. A study of an integrated anomaly model and an exploration model for uranium exploration in Yuhuashan area, Jiangxi Province [J]. *Geology in China*, 44(6): 1234–1250(in Chinese with English abstract).
- Zhou Ping, Shi Junfa. 2007. New progress of transient electromagnetic method (tem) and its application in searching deep concealed ore [J]. *Geology and Exploration*, 43(6): 63–69(in Chinese with English abstract).
- Zhou Qiming, Zhang Maozhong, Li Shuiming, Lai Jinqiu, Huang Hualuan. 1996. Research on searching concealed gold deposits by electrosorption method[J]. *Mineral Resources and Geology*, 3: 69–73(in Chinese with English abstract)
- Zhu Guoqi, Li Hailong, Wen Rongxiang. 2011. Analysis of deep ore–finding characteristics and ore–finding prediction in Guangxi [J].

Journal of Engineering Geophysics, 8(6): 713-722(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 程远, 秦曦, 赵晓晓, 王耀升, 秦学业, 宋双全, 牛耀, 崔小玲. 2018. 东秦岭铅铝锌银多金属矿集区地球物理场特征及综合信息找矿模型[J]. 地质与勘探, 54(4): 747-761.
- 陈毓川, 朱裕生. 1993. 中国矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 1-367.
- 蔡建明, 徐新煌, 李保华. 1995. 五圩多金属矿田包裹体地球化学特征研究[J]. 成都理工学院学报, (1): 69-77.
- 蔡建明, 徐新煌, 刘文周. 1995. 广西五圩矿田多金属矿床的成矿特征及物质来源[J]. 矿物岩石, (3): 63-68.
- 刁理品, 汪忠贵, 吴帮继, 谢晓勇. 2017. 贵州独山铋矿集区多元示矿信息分析与找矿靶区优选[J]. 中国地质, 44(4): 793-809.
- 黄启勋. 1994. 广西隐伏花岗岩及其找矿意义[J]. 物探与化探, 18(1): 61-70.
- 江少卿, 孙兴国, 杨铁铮, 李丽, 印贤波, 王策, 潘燕兵. 2014. 藏北多龙斑岩铜金矿集区综合信息找矿模型研究[J]. 中国地质, 41(2): 497-509.
- 李艳军, 魏俊浩, 李欢, 陈冲, 陕亮, 侯本俊. 2014. 义敦岛弧带夏塞银铅锌矿床地质、物化探特征及综合找矿模型[J]. 中国地质, 41(5): 1636-1649.
- 梁婷, 陈毓川, 王登红, 蔡明海. 2008. 广西大厂锡多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1-175.
- 柳建新, 郭振威, 郭荣文, 童孝忠, 佟铁钢. 2009. CSAMT和重力方法在狮子湖温泉深部地球物理勘查中的应用[J]. 地球物理学进展, 24(5): 1868-1873.
- 刘伟, 胡乔帆, 徐文杰, 陶明荣. 2013. 广西河池五圩矿田箭猪坡铅铋矿控矿构造特征分析[J]. 地质调查与研究, 36, (4): 289-294.
- 刘伟, 胡乔帆, 李明君, 肖柳阳. 2014. 广西河池箭猪坡铅铋矿控矿构造特征及矿化富集规律[J]. 矿床地质, 33(S1): 715-716.
- 刘伟, 安玉伟, 胡乔帆, 周守余, 李莉, 陶明荣. 2015. 广西河池五圩箭猪坡铅铋矿多阶段成矿特征分析[J]. 矿产与地质, 29(2): 215-220.
- 罗先熔. 1996. 地球电化学勘查及深部找矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 134-147.
- 罗先熔, 康明, 欧阳菲, 文美兰, 侯宝宏. 2007. 地电化学成晕机制、方法技术找矿研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 朴化荣. 1990. 电磁测深法原理[M]. 北京: 地质出版社.
- 沈远超, 李光明, 李慎之, 谢宏远, 曾庆栋. 2000. 地电化学参数法在金矿深部定位预测中的应用[J]. 地质科技情报, (1): 97-100.
- 王大勇, 李桐林, 高远, 方含珍, 赵广茂. 2009. CSAMT法和TEM法在铜陵龙虎山地区隐伏矿勘探中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 39(6): 1134-1140.
- 王文忠, 马国林, 刘继东. 2011. 瞬变电磁视纵向电导成像法在寻找深部隐伏金属矿中的应用[J]. 物探与化探, 35(4): 473-476.
- 王耀升, 刘申芬, 王俊鹤, 秦学业, 刘国庆, 崔小玲. 2018. 东秦岭南泥湖铅铝锌银多金属矿田地球物理场特征与深部找矿预测[J]. 中国地质, 45(4): 803-818.
- 徐新煌, 蔡建明, 陈洪德, 刘文周, 李孝全, 王香成. 1991. 广西丹池矿带锡多金属矿床地质地球化学特征及成矿作用[J]. 成都地质学院学报, 18(4): 12-25.
- 玉启红, 刘伟, 丁汝福, 胡乔帆, 周守余. 2017. 广西河池五圩花洞铋矿地电化学特征及找矿预测[J]. 矿产勘查, 8(5): 894-901.
- 章程. 2000. 广西河池五圩矿田构造应力场划分及力源探讨[J]. 广西地质, (2): 7-10.
- 钟福军, 潘家永, 夏菲, 张勇, 刘国奇, 刘颖. 2017. 江西玉华山地区铀矿综合信息找矿模型研究[J]. 中国地质, 44(6): 1234-1250.
- 周平, 施俊法. 2007. 瞬变电磁法(TEM)新进展及其在寻找深部隐伏矿中的应用[J]. 地质与勘探, 43(6): 63-69.
- 周奇明, 张茂忠, 李水明, 赖锦秋, 黄华鸾. 1996. 电吸附找矿方法寻找隐伏金矿床的研究[J]. 矿产与地质, (3): 69-73.
- 朱国器, 黎海龙, 温融湘. 2011. 广西深部找矿特征分析与找矿预测[J]. 工程地球物理学报, 8(6): 713-722.