

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.01.008

引用格式:朱俊,欧阳凯,陈敦理. 激电测深法在印尼塔里阿布岛铅锌多金属矿区勘查中的应用[J]. 华东地质, 2018, 39(1):59-65.

激电测深法在印尼塔里阿布岛铅锌多金属矿区勘查中的应用

朱 俊, 欧阳凯, 陈敦理

(江苏省有色金属华东地质勘查局, 南京 210007)

摘要: 利用直流激发极化法对称四极测深装置对印尼塔里阿布岛铅锌多金属矿化地段进行勘探, 结合该区地质特征、成矿规律及岩层地球物理特征, 获得该矿区铅锌矿体(化)的产状及规模信息。研究表明, 该矿区矿体的低阻高极化异常特征与围岩差异显著。采用 RES2DINV 电法二维反演软件对测深剖面进行反演处理, 在反演时加入剖面地形数据, 可有效制约地形起伏对异常体形态及埋深的干扰, 提高数据处理的精确度。依据激电测深数据反演结果并结合物性工作成果, 对测深剖面进行地质解译推断。利用 I 线剖面布置的槽探及钻探工程对解译推断成果进行验证, 结果表明, 见矿位置及产状规模与物探解译推断成果吻合度较高, 激电测深法在该区多金属勘查中取得了较好的应用效果。

关键词: 激电测深法; 铅锌多金属矿区; 塔里阿布岛; 印尼

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2018)01-059-07

印尼塔里阿布岛归属于苏拉群岛, 是环太平洋成矿带的重要组成部分, 也是东南亚锡铁成矿带的延伸地区。苏拉群岛以铁矿为主, 其东的蒙哥利岛东部已发现较大面积的滨海铁砂矿, 其西的苏拉威西岛南东部有红土型镍铁矿及铬铁矿, 非金属矿产以高硫煤为主, 此外, 还有锡、铅、锌、铜、铋、锰和金等金属矿产, 北东部主要产低温热液型金-银矿及斑岩铜矿等铜多金属矿床, 加里曼丹岛产锡、金和金刚石等矿床^[9]。2013—2014 年, 笔者在苏拉群岛塔里阿布岛利用直流激电中梯扫面和直流激电测深方法寻找硫化物型铅锌多金属矿。直流激电测深法在金属矿找矿方面的研究成果较多^[1-11], 主要探测一定深度范围内极化体引起的异常信息, 并结合区内地质、矿产特征及岩石物理特性, 圈定可能属铅锌矿体(化)引起的异常, 从物探勘测角度对测区做出评价, 为进一步开展地质工作提供基础资料和依据^[12]。近些年来提出的综合找矿理念中, 电法勘探作为主要的物探手段之一, 为地质勘探找矿提供

参考和依据^[13-15]。本文主要介绍直流激电测深法在印尼塔里阿布岛铅锌多金属矿区勘查中的应用效果。

1 矿区地质特征

1.1 地 层

该区出露的地层为第四系残坡积层、冲积层及腐植层, 新近纪含砾石英砂岩, 晚石炭世板岩、粉砂质泥岩、大理岩、炭质硅质板岩、次生石英岩、变质砂岩, 地层总体倾向 NE, 局部受强烈的区域动力作用影响, 呈直立状或倾向 SW 的陡倾斜。与成矿有关的地层为晚石炭世大理岩及板岩(图 1)。

1.2 构 造

1.2.1 褶皱

研究区位于塔里阿布岛西部穹窿复式背斜东侧 NW—SE 走向的次级背斜南东倾伏端北东翼。背斜核部由上石炭统下部变质砂岩构成, 大部分已被花岗岩

* 收稿日期: 2017-05-24 修订日期: 2017-07-19 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 三林万业(上海)企业集团有限公司“印尼北马鲁古省塔里阿布 G 区铅锌多金属矿普查”项目资助。

第一作者简介: 朱俊, 1982 年生, 男, 工程师, 主要从事矿产地质和地球物理勘查及其数据正反演研究。

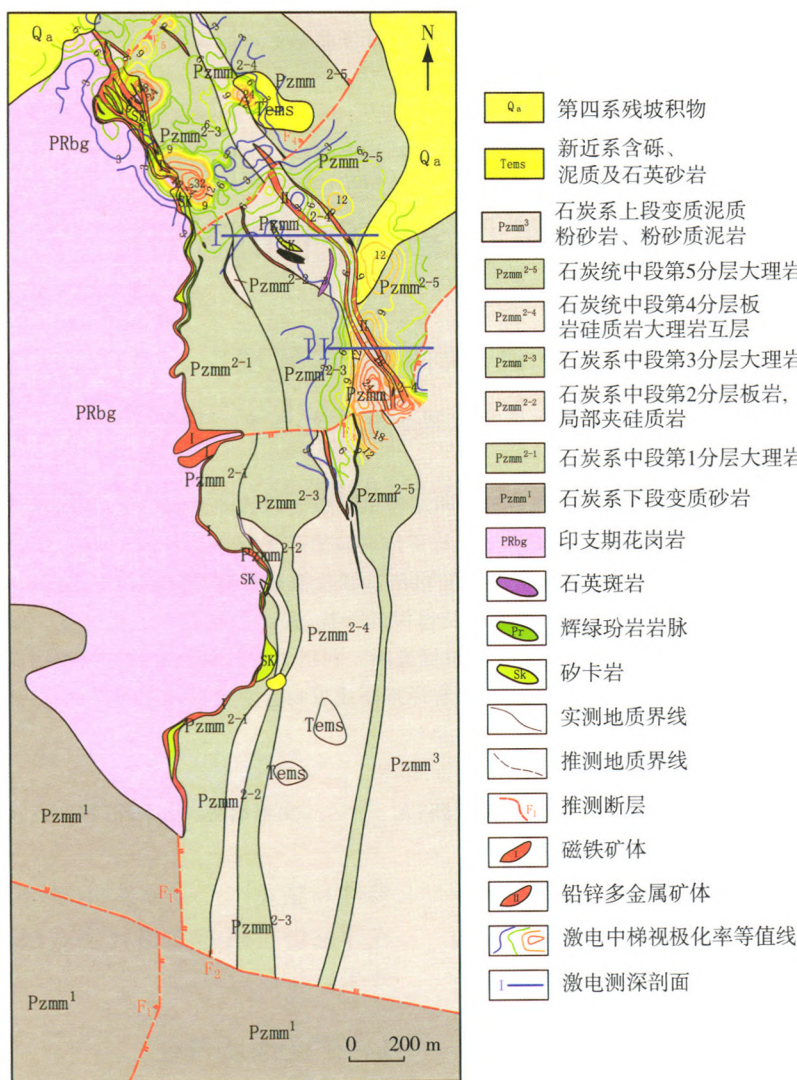


图1 塔里阿布岛铅锌多金属矿区地质图及激电测深剖面位置

Fig. 1 Geological map and the locations of IP sounding sections of the Lead-Zinc polymetallic ore area on Taliabu Island

岩体侵位,仅在研究区西南部出露;研究区中东部由上石炭统中部大理岩(夹板岩、硅质岩)及上石炭统上部泥(板)岩构成倾向 NE 向—E 向单斜。

1.2.2 断裂

研究区主要发育 SN 向断裂,贯穿于研究区中部,为区内发育最早、与次级背斜轴向近一致的压扭性断裂,发育于上石炭统变质砂岩(上盘西侧)与上石炭统中部大理岩(下盘东侧)之间。中部板岩层位中发育顺层断裂并含铜铅锌多金属矿体,该顺层断裂总体倾向为 NE 向—NEE 向,倾角变化较大(45°~85°),局部近乎直立,初步研究认为是成矿前为压性、成矿期转变为张性的层间断裂,是该区热液型多金属矿体的导矿容矿构造^①。

1.3 矿化及围岩蚀变

研究区矿化主要为闪锌矿化、方铅矿化、黄铁矿化、磁铁矿化、黄铜矿化、磁黄铁矿化,其次为少量异极矿化、孔雀石化、蓝铜矿化、褐铁矿化。主要围岩蚀变有硅化、矽卡岩化、大理岩化、绿泥石化、云英岩化。

2 岩(矿)石电性特征

对研究区内出露的主要岩石和矿体进行物性测定,测定方法为露头小四极法和标本面团法,电性参数测量结果统计见表 1。

根据电性参数测量结果统计(表 1)可知,研究区

表 1 研究区主要岩石及矿体的电性参数测量结果统计
Table 1 Electrical property parameters of the main rocks and ore bodies

岩石	样本数	电阻率/($\Omega\cdot\text{m}$)			极化率/%			备注
		最小值	最大值	几何平均值	最小值	最大值	算术平均值	
板岩	113	97.7	27 065.9	690.7	1.1	8.79	3.06	露头测定
大理岩	9	598.8	11 201.7	4 420.4	1.23	4.02	2.42	
矿体	36	9.7	2746.1	103.4	1.4	38.72	10.44	
砂卡岩	17	18.6	574.8	103.0	0.59	9.82	2.51	
硅质岩	22	977.2	41 473.7	8 331.7	0.64	11.67	6.73	标本测定
板岩	34	25 830.3	40.4	1 197.44	40.08	0.05	9.96	
大理岩	51	19 556.0	141.9	2 790.04	13.76	0.05	3.01	
砂卡岩	24	4 809.8	28.7	824.3	11.43	0.03	2.88	
矿体	42	2 282.7	3.4	177.39	13.76	0.1	6.27	

硅质岩具有高阻中高极化的特征,大理岩具有中高阻中低极化的特征;板岩为中等电阻率中高等极化,板岩中常见黄铁矿,其极化率与所含黄铁矿成正比。砂卡岩呈中低阻低极化,与矿体低阻高极化特征具有明显差异。板岩与硅质岩也可引起高极化异常,与矿致高极化异常不易区分,在解译推断时必须结合电阻率参数加以区别。本次勘查对象与围岩具有明显的电性差异,在研究区开展激电勘探工作具备地球物理前提条件。

3 工作方法

激发极化法是以地壳中不同岩矿石的激电效应差异为基础,通过观测与研究人工建立的直流(时间域)或交流(频率域)激电场的分布规律进行找矿或解决地质问题的一种电法勘探分支方法^[16]。鉴于研究区的勘查对象为硫化物型铅锌矿床,具有良好的激发极化效应,前期在该区曾投入激电中梯扫面工作,通过扫面结果发现矿体(化)可引起足够强度的激电异常,且异常特征与围岩具有明显区别。本次选择激电测深法,工作装置为对称四极装置。在前期激电中梯扫面圈出的异常部位布置 2 条激电测深剖面(图 1),由北向南分别为 I 和 II。为方便后期地质物探综合研究,测深剖面与地质勘探线同方向布置,剖面线方向为 90°,大致与矿体(化)和赋矿层位走向垂直。I 号剖面长 800 m,II 号剖面长 380 m,测深点间距为 20 m,共计 61 个测深点,所有测点在开始测量之前均使用全站仪进行放点并埋设标志桩。工作中各测点的供电、测量电极排列与剖面方向一致,均为东西向排列。

本次激电测深采用重庆奔腾数控技术研究所研制生产的 WDA-1 超级数字直流激电仪,供电电极采用长 60 cm 的钢制电极,测量电极为硫酸铜不极化电极。采用对称四极测量装置,AB 极距等比增加,除了小极距外($AB/2<10\text{ m}$),其他的极距 $AB/MN=10$ 。供电源为电池箱,最大供电电压为 1 200 V,采用标准正负供电模式供电,供电时间为 8 s,延时 200 ms,积分时间 20 ms。记录参数包括测量极电位差 VP、自然电位 SP、视电阻率 ρ_s 、视极化率 Ms、半衰时 TH,其中用于本次工作成果分析的参数主要为 ρ_s 和 Ms。工作过程中执行标准为《时间域激发极化法技术规定》(DZ/T0070-1993)。

为了减小接地电阻,增加供电电流提高信噪比,测量中尽量使用大电流供电,增加供电电极数量,将电极垂直测线方向在供电点打成一排,各电极间距大于两倍入土深度,沿垂直测线方向移动供电电极布设位置,移动距离控制在供电极距的 2% 以内。

4 异常特征及解译推断

研究区地形起伏较大且切割强烈,对电法测量结果的解释具有一定影响。地形起伏将造成视电阻率测量值发生变化,形成视电阻率假异常。而且,地形起伏将影响极化率异常埋深及产状。实测拟断面可以在水平方向准确反映出异常位置,但是由于受地形起伏的影响,实测拟断面反映的极化率异常埋深往往与实际位置不符,因此直接利用激电测量获得的实测拟断面进行地质解译推断往往与实际情况不同,尤其是研究区地形起伏较大的情况

下,不取消除地形起伏影响的反演处理,将使解释结果严重失真。

为了减小地形起伏对反演处理结果的影响,本次激电测深数据运用 RES2DINV 电法二维反演软件进行处理。实测原始拟断面图与模型正演理论拟断面图对比结果显示正演拟合效果较好,反演出的异常体在原始数据中均有对应信息显示。将反演结果与剖面已知地质信息对比,发现反演结果中浅表的异常与地表发现的矿化在位置上亦有较好的

对应。所以,本次电法测深采用的数据正反演方法合理且有效,取得的反演成果可靠。

4.1 I 线异常特征及解释推断

研究区 I 线视电阻率反演断面和视极化率反演断面分别如图 2 和图 3 所示。I 线为 EW 走向,西端测点与剖面 0 m 点 EW 向水平距离为 450 m,东端测点与 0 m 点 EW 向水平距离为 120 m。根据视电阻率和视极化率反演结果,结合物性参数和测线踏勘地质信息对反演结果进行解译推断。

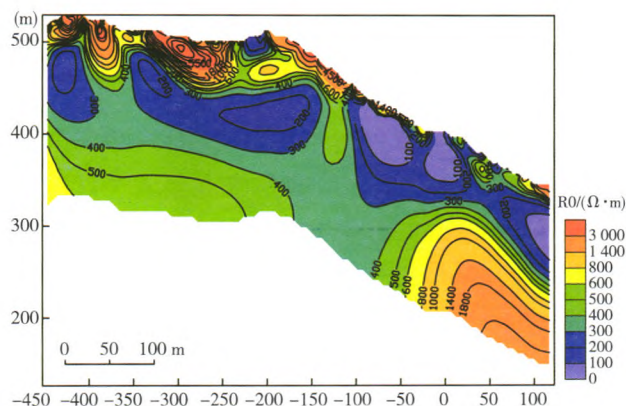


图 2 I 线视电阻率反演断面图

Fig. 2 Inversion profile of apparent resistivity of Line I

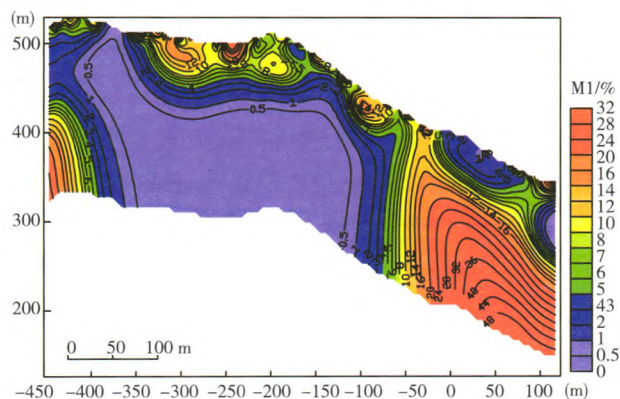


图 3 I 线视极化率反演断面图

Fig. 3 Inversion profile of apparent polarizability of Line I

—450 m 至 —350 m 区间,视电阻率及视极化率反演结果(图 2,图 3)显示为高阻低极化体,符合大理岩电性特征,解译为大理岩发育区。—350 m 至 —225 m 区间为高阻高极化体,地表宽约 100 m,厚度不均匀,最厚处约 50 m,符合硅质岩电性特征,推断为硅质岩。大理岩与硅质岩接触部位,有 1 条向东缓倾的低阻区,对应位置的极化率较高,呈低阻高极化特征,推断为矿化。根据反演结果,矿化主要位于浅表附近,赋矿层位为硅质岩与下部大理岩接触带,倾向向东,倾角约 40° 。—100 m 附近浅表处可见 1 处低阻高极化异常,推断为矿体,反演结果显示该异常延深规模不大。—50 m 以西大规模低阻低极化区推断为大理岩,由于大理岩发生矽卡岩化和破碎,其电阻率明显下降。剖面最西端深部高极化异常,推断由大理岩含黄铁矿引起。剖面东侧大规模高极化异常,其上部 and 西侧部分位置对应低阻区,符合矿体低阻高极化的电性特征,产状较陡,近于直立。此外,该处异常大部分位置对应高阻区,应为黄铁矿化大理岩或者硅质岩和黄铁矿化

板岩互层,I 线解译推断结果见图 4。

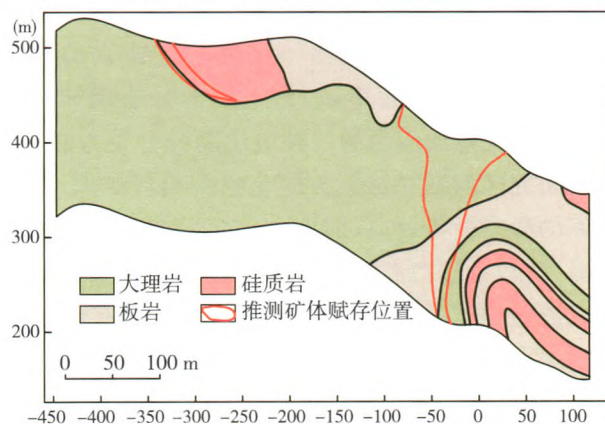


图 4 I 线解译推断成果图

Fig. 4 Interpreted result image of Line I

4.2 II 线异常特征及解释推断

II 线为 EW 走向,西端测点与剖面 0 m 点东西向水平距离为 180 m,东端测点与 0 m 点水平距离为 200 m。II 线视电阻率和视极化率反演结果分别见图 5 和图 6。

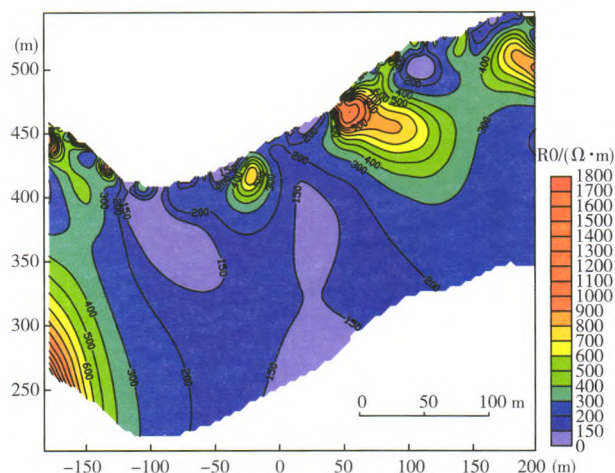


图 5 II 线视电阻率反演断面图

Fig. 5 Inversion image of apparent resistivity of Line II

结合物性参数和测线踏勘地质资料对 II 线异常特征进行解译推断。电阻率 $< 350 \Omega \cdot m$ 推断为板岩,电阻率 $> 350 \Omega \cdot m$ 推断为大理岩。视电阻率反演结果(图 5)显示该剖面大部分为低阻区,野外施工时,在沟东侧山体中发现多处涌水点,推测岩层破碎程度高,且裂隙含水量较大,与电阻率反演结果吻合。两处高极化率异常均对应于低阻位置,极化率异常形态规整,均为低阻高极化异常特征,符合矿致异常特征。但从异常规模看,完全推断为矿致异常尚需谨慎,也可能为裂隙水中溶带矿物颗粒和离子导致极化率异常范围扩大。推测矿体赋存于浅部的大理岩与板岩接触部位以及深部板岩内部极化率异常中心位置(图 7)。

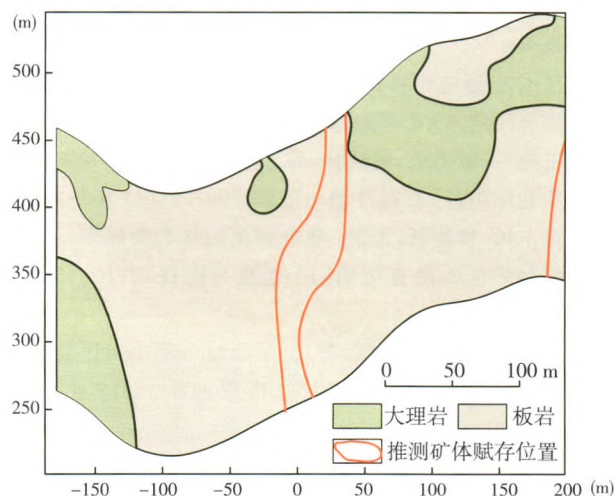


图 7 II 线解译推断成果图

Fig. 7 Interpreted result image of Line II

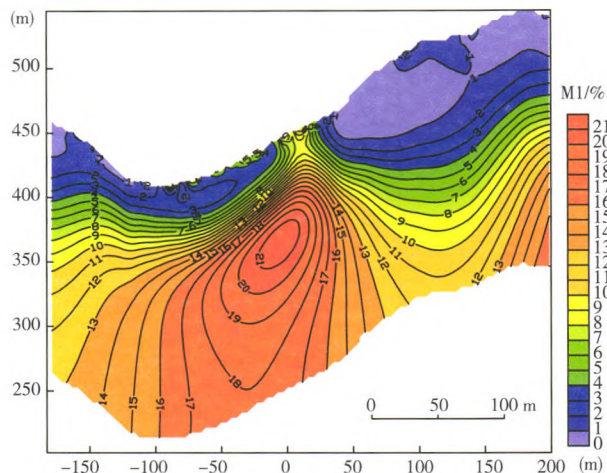


图 6 II 线视极化率反演断面图

Fig. 6 Inversion image of apparent polarizability of Line II

在 I 线布置地表槽探和钻孔对物探解译推断成果进行验证,结果(图 8)显示,在 -350 m 地表大理岩和硅质岩接触部位有矿化;钻孔 ZK04 在 -100 m 附近在板岩和大理岩接触面处钻遇矿体;钻孔 ZK01 和 ZK02 中见大范围矿化,见矿位置和矿化体产状与该剖面主要物探异常位置及形态吻合;根据 ZK01、ZK02 和 ZK03 对该剖面东侧深部大规模高阻高极化体钻探结果,该高阻高极化体外表为大理岩,厚约 10 m,内部为板岩和硅质岩互层。ZK01 显示硅质岩厚度约为 10 m,足以引起明显高极化率异常,该处高阻高极化异常由板岩和硅质岩互层引起。在 0 m 以东地表探槽中见矿体,电法勘探结果显示为低阻低极化特征,电阻率反演结果符合矿体电性特征,极化率无高异常显示,可能因浅表附近矿体氧化,无法产生极化率高异常。

5 结 论

(1)矿体主要赋存于板岩和大理岩接触部位以及板岩内部,矿体产状较陡。I 线钻探验证结果表明低阻高极化异常与矿体对应关系较好,可有效指导该区的布钻工作。

(2)引起极化率高值异常的为矿体和硅质岩。大理岩中黄铁矿含量也可引起高极化率异常,是矿致极化率高异常的干扰因素,需结合电阻率特征排除相关干扰。研究区矿致异常特征为低阻高极化,硅质岩和大理岩的电阻率为矿体电阻率的数十倍。

(3)研究区位于热带雨林,局部地段岩层破碎

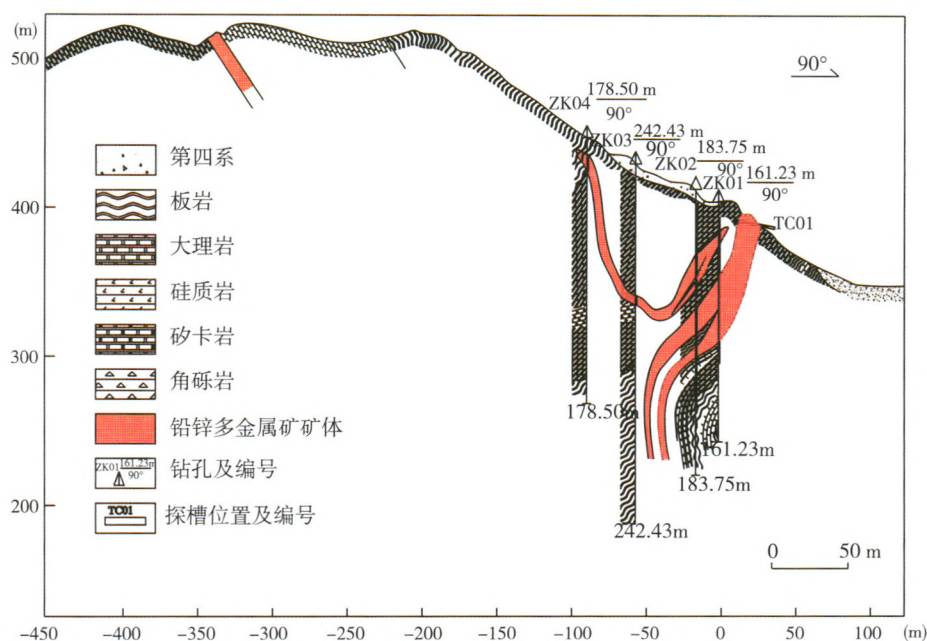


图8 I线地质剖面图

Fig. 8 Geological section of Line I

程度较高,大量含矿溶液充盈在裂隙之中,导致岩石电阻率明显降低,极化率升高。Ⅱ线剖面激电测量结果显示其电阻率值整体较低,导致其分辨率较低,极化率大范围呈正异常。解释推断的难点是矿体规模的确定,需结合地质资料谨慎操作,提高解释推断成果的合理性和可靠性。

注释

① 华东有色地质矿产勘查开发院. 印尼北马鲁古省塔里阿布G区铅锌多金属矿普查报告. 2017.

参考文献

- [1] Weller. Three-dimensional inversion of induced polarization data from simulated waste [J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 44(2/3): 67-83.
- [2] 汪玉琼. 激电中梯和激电测深在织金新麦铅锌矿区的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(5): 551-553.
- [3] 陈蜡春, 陶德益, 高宝龙, 等. 激电测深法在广西融安县泗顶铅锌矿接替资源勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 2009, 45(3): 280-286.
- [4] 李建全, 杜建松, 刘恩法, 等. 激电测深法在贵州大观金矿区勘查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2015, 12(4): 459-462.
- [5] 侯新宇, 杨生, 张平. 激电测深法在智利尼沟铜矿区的勘查应用[J]. 价值工程, 2016, 22(4): 204-207.
- [6] 向启安, 杨天春. 激电测深在湖南醴陵金矿激电异常评价中的应用[J]. 黄金科学技术, 2011, 19(5): 1-6.
- [7] 郝昭, 贺健国, 雷阳, 等. 激电测深在青海柴达木盆地查香卡地区多金属找矿中的应用[J]. 铀矿地质, 2015, 31(6): 600-605.
- [8] 李宏伟, 柏剑. 激电测深在西藏某铜多金属矿勘查区寻找隐伏矿体中的应用[J]. 中国矿业, 2015, 24(1): 83-89.
- [9] 王秀英, 潘月栋, 杨涛, 等. 激电中梯和激电测深在吉林和龙市石马洞铅矿的应用[J]. 吉林地质, 2011, 30(3): 78-83.
- [10] 汪玉琼. 激电中梯和激电测深在织金新麦铅锌矿区的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(5): 551-553.
- [11] 王艳兰, 喻佑顺, 杨桂林, 等. 直流电测深法在找黄铁矿中的应用[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(4): 447-449.
- [12] 张东风, 柳建新, 谢维. 激电测深法在非洲刚果(金)某铜钴矿区的勘查应用[J]. 地质与勘探, 2010, 46(4): 664-669.
- [13] 张景, 陈国光, 张明, 等. 宁芜盆地白象山矿区物化探异常特征及找矿意义[J]. 华东地质, 2016, 37(2): 147-151.
- [14] 张景, 陈国光, 曾勇, 等. 综合找矿方法在宁芜北火山岩覆盖区的应用——以南门头工区为例[J]. 华东地质, 2016, 37(3): 221-228.
- [15] 李双喜, 郭坤一, 宋世明, 等. 宁芜北部铜(金)多金属矿

深部找矿地质与地球物理模型研究[J].华东地质,
2016,37(4):266-274.

[16] 李金铭.激发极化法方法技术指南[M].北京:地质出版社,2004:10-70.

Application of induced polarization sounding method in exploration of the Lead-Zinc polymetallic mining area on taliabu Island, Indonesia

ZHU Jun, OUYANG Kai, CHEN Dun-li

(East China Mineral Exploration and Development Bureau, Nanjing 210007, China)

Abstract: The Induced Polarization (IP) sounding method was employed to perform the exploration in the Lead-Zinc polymetallic mining area on Taliabu Island, Indonesia. Combined with geological features, mineralization regularity and geophysical feature of rocks, this study obtained the occurrence and scale of the Lead-Zinc polymetallic ore bodies. The results show that the orebodies of low resistance and high polarization are significantly different from the country rocks. The sounding section inversion was carried out using 2-D inversion software RES2DINV. Addition of topographic data of the section has effectively constrained the interference of wavy terrain on the shape and depth of the abnormal bodies and improved the accuracy of data processing. The sounding section was interpreted geologically based on the results of IP sounding inversion and study of physical property. The trenching and drilling in Line I was used to verify the interpretation results. The results reveal that the actual location, shape and scale of the ore bodies are well coupled with the geophysical interpretation results. IP sounding has yielded better application in the exploration of the polymetallic mining area.

Key words: Induced polarization sounding method; Lead-Zinc polymetallic mining area; Taliabu Island; Indonesia