

综合物探方法在多不杂斑岩型铜金矿床的应用

王阳玲,左焕成,肖 扬,朱丽丽,刘永涛

(四川省冶金地质勘查院,成都 610051)

摘要: 通过在西藏多不杂斑岩型铜金矿床0号勘探剖面开展高精度磁测、激电中梯剖面、激电测深、音频大地电磁测深(AMT)等多种物探方法,了解多不杂斑岩铜金矿体引起的磁、电变化特征,证明该方法组合在多不杂斑岩型铜金矿区找矿的有效性,为多龙矿集区下一步的找矿工作选择了合适的物探方法组合。首先利用高精度磁测圈定斑岩体的范围,同时利用激电中梯剖面准确定位硫化物富集区域,结合地质、化探等资料在成矿有利地段利用激电测深来识别异常的空间展布形态,最后利用音频大地电磁测深获得剖面深部电性结构特征,综合多种手段判断是否为矿致异常,降低了地质找矿的风险。

关键词: 多不杂斑岩型铜金矿;综合物探;音频大地电磁测深;西藏自治区

中图分类号: P618.41;P631 **文献标识码:** A

0 引言

西藏多不杂斑岩铜金矿床是班公湖—怒江成矿带发现的一个铜金矿床,具超大型规模,目前已控制铜资源量超过 700×10^4 t,品位 $w(\text{Cu})=0.46\% \sim 1.13\%$,控制金资源量超过 110 t,品位 $w(\text{Au})=0.15 \times 10^{-6} \sim 0.26 \times 10^{-6}$,是青藏高原重要的矿产资源战略储备基地^[1-3]。同时,在多不杂所在的多龙铜金矿集区内还发现了地堡那木岗、尕尔勤、赛角、色那、拿顿、色那东、荣那、波龙、拿若等一批矿床(点)^[4]。本文通过在多不杂矿区的试验,采运用综合物探方法为矿集区下一步的地质勘查工作选择合适的物探方法组合。

1 矿区地质概况

多龙矿集区位于羌塘地块南缘与班公湖—怒江缝合带北侧的结合部位。多不杂矿区位于多龙矿集区的中北部,矿区内发育有近EW向的 F_2 及NE向

的 F_{10} 断裂,岩体内外接触带附近次级断裂较发育。断裂 F_2 为早期的控矿断裂,是多不杂花岗闪长斑岩的侵入通道为成矿提供了空间,同时也是后期切割矿体的断裂。断裂 F_{10} 则与成矿无关,为一成矿后断裂^[5]。

区内出露地层由老至新主要为下侏罗统曲色组第二岩段(J_1q^2)、下白垩统美日切组(K_1m)、渐新统康托组(E_3k)及第四系(Q)。多不杂矿区的岩浆岩主要有辉绿玢岩($\beta\mu_3^3$)、花岗闪长斑岩($\gamma\delta\pi_3^3$)、玄武质安山岩($\alpha\beta_3^3$),主要含矿岩石为花岗闪长斑岩($\gamma\delta\pi_3^3$)。

多不杂矿区的花岗闪长斑岩体的钾化带、绢英岩化带及斑岩体边部的青磐岩化变长石石英砂岩为主要含矿层位^[6]。斑岩体在平面上以黄铜矿化为主,黄铜矿化呈浸染状、细脉状,铜品位较低,局部达到矿体边界品位,形成夹石;岩体与围岩内外接触带部位的黄铜矿化铜品位明显增高,黄铜矿化以脉状、网脉状为主;外侧青磐岩化变长石石英砂岩中的黄铜矿化以脉状、细脉状、浸染状为主,铜品位逐渐降低,形成环绕斑岩矿体的环带状低品位砂岩矿体。垂向上,近地表矿体存在不同程度的氧化,可见薄膜状孔雀石、蓝铜矿;中上部矿体主要为细脉浸染状黄

收稿日期: 2017-03-13; 改回日期: 2017-06-10; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 王阳玲(1989—),男,助理工程师,硕士研究生,主要从事地球物理勘查及方法研究、地质找矿工作。通信地址:成都市成华区地勘路6号,四川省冶金地质勘查院;邮政编码:610051;E-mail:wylcugb112@163.com

铜矿化;中深部矿体过渡为稀疏浸染状黄铜矿化,铜品位逐渐降低。

多不杂矿体具有斑岩型铜矿的典型蚀变分带特征:由含矿斑岩体中心向外可划分出钾硅化带、黏土化带、青磐岩化带和角岩带,其中钾硅化带富含金属硫化物,是多不杂矿区的主要含矿部位。这种蚀变分带性在垂向上同样存在,由浅部至深部蚀变可分为黏土化带(伊利石-水白云母化)、黏土化叠加钾化带、绿泥石化带叠加钾化带、钾硅化带。

2 岩(矿)石地球物理特征

矿区有关标本物性参数统计结果见表 1。

由表 1 可以看出:①在所有测试物性中,铜矿化花岗闪长斑岩、黄铁矿化花岗闪长斑岩表现为低阻高极化,黄铁矿化变长石石英砂岩表现为中阻高极化率;②花岗闪长斑岩的电阻率略高于铜矿化花岗闪长斑岩,表现为低阻,整体表现为低阻低极化;③辉绿岩脉、玄武质安山岩、变长石石英砂岩均表现为低极化率、中高电阻率特征;④花岗闪长斑岩、铜矿化花岗闪长斑岩、玄武质安山岩、黄铁矿化花岗闪长斑岩的磁化率均较高,属于有较强磁性的磁化体,能引起一定规模的磁异常,而变长石石英砂岩、黄铁矿化变长石石英砂岩磁性较弱;⑤根据物性测试统计结果分析,铜矿化花岗闪长斑岩、黄铁矿化花岗闪长斑岩具有高极化、低电阻、高磁的物性特征。

尽管黄铁矿化花岗闪长斑岩的极化率略高于铜矿化花岗闪长斑岩,黄铁矿化仍会对物探找矿形成干扰,但黄铁矿化对于本区物探找矿又具有一定的指示作用,应结合斑岩铜矿成矿规律来综合判断。因此,本区具备开展激发极化法、高精度磁测及音频大地电磁测深(AMT)的地球物理前提。

3 多不杂 0 号勘探线矿体特征

0 号勘探线已施工钻孔 7 个,其中 5 个见矿情况较好,另外 2 个未见工业矿体。该剖面为已知剖面,利于开展综合物探方法试验对比。多不杂含矿斑岩体侵入到下侏罗统曲色组二岩段变长石石英砂岩、泥砂质板岩中,而岩体北侧与下白垩统美日切错组玄武安山岩呈断裂接触。矿体顶部氧化较为强烈,故矿体分为氧化矿和原生矿,氧化矿表现为高电阻特征,呈薄膜状、纤维状集合体,深部原生矿体以细脉浸染状黄铜矿化为主。其矿化和蚀变特征具明显的分带现象,花岗闪长斑岩体的钾化带、绢英岩化带及岩体边部的青磐岩化变长石石英砂岩为多不杂主要含矿层位,含矿斑岩中心向外的钾硅化带、泥英岩化-绢英岩化带和青磐岩化带为多不杂矿体的主要蚀变带(图 1、图 2)。

4 地球物理特征

物探方法种类繁多,且各自具有其应用前提,不同方法的适用性、优势及不足也各不相同。应选择几种物探方法进行综合研究以更好地应用于深部找矿。为了解多种物探手段在多不杂铜金矿区找矿中的应用效果,进而确定物探找矿方法的信息标志,建立适合多龙矿集区的中深部矿产勘查的有效方法组合,在多不杂矿区 0 号勘探线进行长度为 1 000 m 的多种物探方法对比试验,包括激电中梯剖面、高精度磁测、音频大地电磁测深(AMT)、激电测深等 4 种方法。

4.1 磁异常特征

地面高精度磁测是在地面观测地下介质磁性差

表 1 多不杂矿区岩(矿)石物性参数统计

Table 1 Statistics of physical parameters of the property

岩性	极化率 $M/\%$	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	磁化率 $\kappa/10^{-6} \text{ SI}$	剩磁强度 $J_r/10^{-3} \text{ A/m}$
花岗闪长斑岩	2.74	238	4810	768
辉绿玢岩	2	2906		
玄武安山岩	2.69	13001	5530	1024
铜矿化花岗闪长斑岩	7.29	150	5723	693
变长石石英砂岩	1.56	1734	1145	217
黄铁矿化花岗闪长斑岩	11.45	179	5674	730
黄铁矿化变长石石英砂岩	12.5	641	1286	220

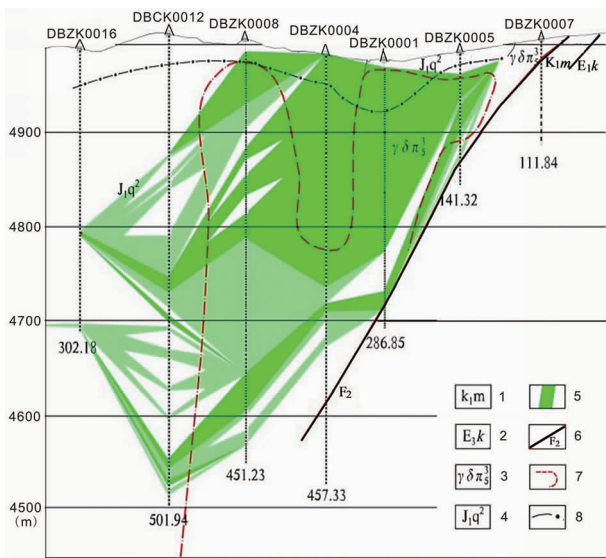


图1 多不杂矿区0号勘探线地质剖面图

Fig. 1 Geological section of line 0

in Duobuza Cu (Au) deposit

1. 下白垩统美日切组; 2. 渐新统康托组;
3. 花岗闪长斑岩; 4. 变长石石英砂岩;
5. 工业矿体; 6. 断裂; 7. 岩体界线; 8. 氧化带界线

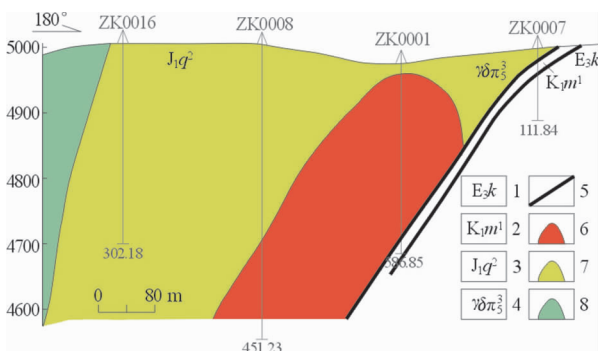


图2 多不杂矿区0号勘探线蚀变分带特征

Fig. 2 Alteration zoning along line 0

in Duobuza Cu (Au) deposit

1. 渐新统康托组: 棕红色黏土及砂砾层;
2. 下白垩统美日切组一段: 紫红色褐紫色火山碎屑岩夹安山玢岩;
3. 下侏罗统曲曲组二段: 变长石石英砂岩; 4. 花岗闪长斑岩;
5. 断裂; 6. 钾化带; 7. 绢英岩化带; 8. 青磐岩化带

引起的磁场变化的一种地球物理勘查方法。图3是0号剖面磁测 ΔT 2.5维人机交互反演解译图,反演时参考了花岗闪长斑岩的磁性参数。花岗闪长斑岩磁化强度取 $800 \times 10^{-3} \text{ A/m}$,局部富集的强磁性体磁化强度取 $1000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$,磁化倾角取当地地磁倾角 51.1° ,围岩(变长石石英砂岩、砂砾岩)作无磁看待。经反演计算,剖面强磁地段为花岗闪长斑岩的反映,向下延深较大,其中含2个局部富集

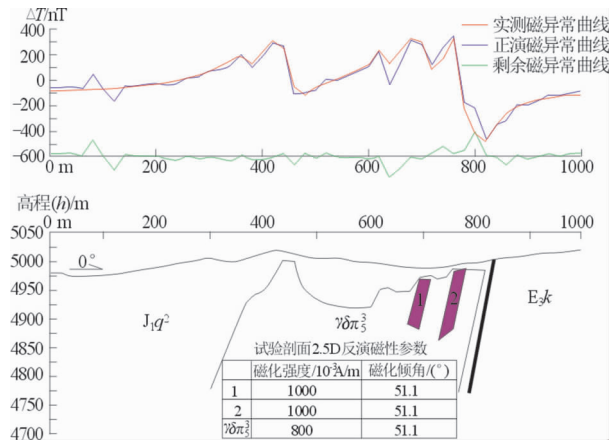


图3 0号剖面高精度磁测成果图

Fig. 3 Map showing result of the high precision magnetic survey at line 0

的强磁性体。花岗闪长斑岩顶板埋深几米至数十米不等,向南倾斜。

由图3看出,钾化带及具有一定铜矿化的斑岩体对应磁异常曲线高磁段的相对弱磁地段。分析认为,花岗闪长斑岩由于含有一定量的磁性暗色矿物而整体表现为高磁特征,在矿化富集地段由于蚀变强烈,岩体蚀变过程中暗色矿物发生了退磁蚀变而使得磁性降低;同时也与花岗闪长斑岩的埋藏深度有关,当其出露较浅时异常形态比较明显,随着埋深的增大异常将逐渐降低至不甚明显。

4.2 激电中梯剖面异常特征

激电中梯剖面主要用来探查地下一定深度范围内的横向电性变化,获得地质体在地表的极化场特征,以视极化率(η_s)为主,辅以视电阻率(ρ_s)来进行地质解释,通过分析二者的分布范围、强度、梯度等特征,初略评估矿区内规模较大的含硫化物矿体所在地段的找矿前景^[7]。经试验,最终选定激电中梯剖面工作参数为 $AB=1500 \text{ m}$, $MN=40 \text{ m}$,供电周期 32 s ,第一子样宽度 40 ms ,延时 150 ms ,测量点距 40 m 。

图4为0号剖面视极化率、视电阻率对比曲线,由视极化率曲线看,沿剖面 $0 \sim 760 \text{ m}$ 视极化率值整体较高,一般在 8% 以上,极值达 12% ,对应多不杂铜金矿体及外围蚀变带。矿化较好的斑岩体对应地段视极化率值较两侧低,推测与斑岩体顶部存在氧化带而两侧与花岗闪长斑岩接触部位黄铁矿化发育有关。剖面北侧视极化率较低,对应渐新统康托组(E_3k)砂砾岩。由视电阻率曲线看,整体视电阻率值较低,主矿区对应区域视电阻率值略高于其他区域,

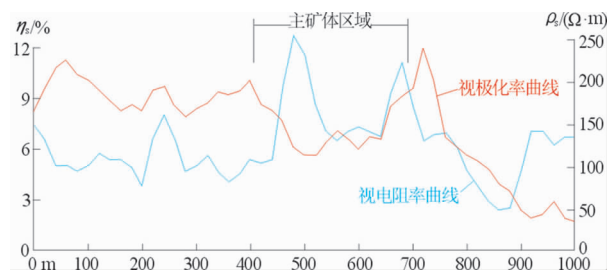


图 4 0 号剖面视极化率、视电阻率对比曲线

Fig. 4 Comparative curves of apparent polarizability and apparent resistivity at line 0

推测受斑岩体顶部氧化带影响所致。矿体基本位于中低视电阻率、高视极化率地段。斑岩体边部由于黄铁矿化发育而表现为高视极化率特征。

4.3 激电测深异常特征

激电测深主要用来探查地下不同深度范围内的垂向电性变化。剖面上测深点点距为 40 m。工作参数与激电中梯剖面测量相同。测深装置采用对称四极装置,测量极距系列 $AB/2$ 为:40 m、80 m、120 m、160 m、240 m、320 m、480 m、600 m、760 m、920 m。对应 $MN/2=20$ m、40 m 逐点进行观测。测深点跑极方向与剖面方位一致,整个矿区统一。

图 5 为 0 号剖面的激电测深成果,中等视极化率异常与多不杂矿体对应,视极化率幅值介于 6.5%~8.5%,视电阻率表现为中低阻,核部视电阻率值低于外围,异常产状基本与矿体一致。该异常南侧存在一个极高化高阻异常,视极化率幅值高于 8.5%,与绢英岩化带对应,绢英岩化带中因黄铁矿化发育而引起高视极化率异常,而在矿体北侧存在一个极低化低阻带,推测为受构造影响的角砾岩和

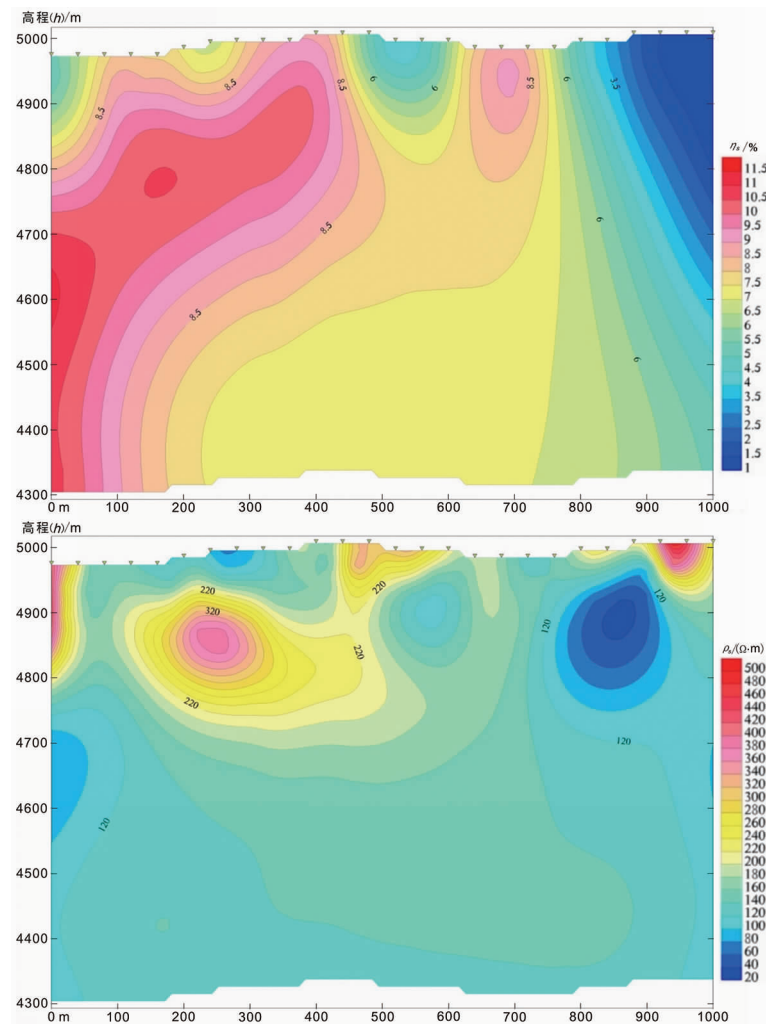


图 5 0 号剖面激电测深 2.5 维反演成果图

Fig. 5 Map showing 2.5 D inversion result of electric sounding along section 0

砂砾岩带。

4.4 AMT 异常特征

音频大地电磁测深(AMT)是通过在地表测量正交电、磁场分量的扰动值,计算得到地下介质的电性结构信息的一种被动源电磁探测技术^[8]。经过一系列处理、反演后得到视电阻率(卡尼亚电阻率)断面图。如图6,断裂F₂在视电阻率断面图上对应高低阻分界带,两侧电性差异明显,断裂上盘整体表现为低阻电性特征,对应多不杂矿体,下盘表现为高阻电性特征,对应砂砾岩。上盘低阻体形态及产状与矿体基本一致,低阻体范围基本反映了矿体规模。矿体顶部存在氧化带,与低阻体顶部的高阻带对应。另外,矿体南侧的高阻体为变长石英砂岩的电性反映。

总的来说,在多不杂矿区利用高精度磁测对与成矿关系密切的花岗闪长斑岩反映比较明显的特点,可进行大面积的扫面来圈定斑岩体的范围。激电中梯剖面对金属硫化物富集地段反映较好,可以通过激电中梯扫面圈定斑岩矿体及其蚀变带范围,从而缩小找矿靶区。激电测深工作能通过视极化率、视电阻率两方面来进行矿体识别和边界确定,同

时反映矿体在纵向上的空间展布形态,但受高阻层影响很难分辨矿体的深部形态。音频大地电磁测深可以穿透高阻层实现对矿体形态、产状和规模大小的识别,同时可有效探测容矿断裂构造,但音频大地电磁测深仅提供唯一的电阻率参数,对厚度薄、品位低的矿体分辨率不够,在地质解译方面存在多解性和不确定性。

任何物探方法都有其应用前提与局限性,提供的物性参数各有不同,反映的地质属性也各有侧重。因此,在多龙矿集区的区域地质、重力、航遥、化探等成矿有利部位寻找深部斑岩铜金矿床时可以利用上述4种物探方法来进行综合研究,以减少物探的多解性、提高精度、降低地质找矿的风险。

5 结语

通过在多不杂斑岩型铜金矿区开展综合物探方法应用研究,找到了适合本区寻找斑岩型铜金矿的物探方法组合:利用高精度磁测圈定斑岩体的范围,利用激电中梯扫面圈定斑岩矿体及其蚀变带的范围,利用激电测深来识别矿体及确定其边界,利用音频大地电磁测深实现对矿体形态、产状及规模大小的识别,并有效探测容矿构造,同时从电阻率的角度弥补激电测深勘探深度上的不足。综合物探方法相比单一的物探手段可以获得更多的地球物理信息,随着找矿难度的不断增加,对资料解释可信度要求不断的提高,更多的地质物探手段将被应用到将来的深部找矿中。

参考文献:

- [1] 李光明,李金祥,秦克章,等. 西藏多不杂超大型赋金斑岩铜矿的蚀变-矿化特征及高氧化成矿流体初步研究[J]. 矿床地质, 2006,25(2):411-414.
- [2] 祝向平,陈华安,马东方,等. 西藏多不杂斑岩铜金矿床地质与蚀变[J]. 地质与勘探,2012,48(2):199-206.
- [3] 焦彦杰,廖国忠,李华,等. 多不杂斑岩铜金矿区蚀变分带与黄铁矿的关系:物探方法选择与异常解释的基础[J]. 中国地质, 2015,42(6):1969-1979.
- [4] 李玉彬,多吉,钟婉婷,等. 西藏改则县多不杂斑岩型铜金矿床勘查模型[J]. 地质与勘探,2012,48(2):274-287.
- [5] 李富,王永华,焦彦杰,等. 多龙矿集区物探异常特征及找矿方向[J]. 地球物理学进展,2016,31(1):217-224.
- [6] 陈红旗,曲晓明,范淑芳,等. 西藏改则县多龙矿集区斑岩型铜金矿床的地质特征与成矿-找矿模型[J]. 矿床地质,2015,34(2):321-332.

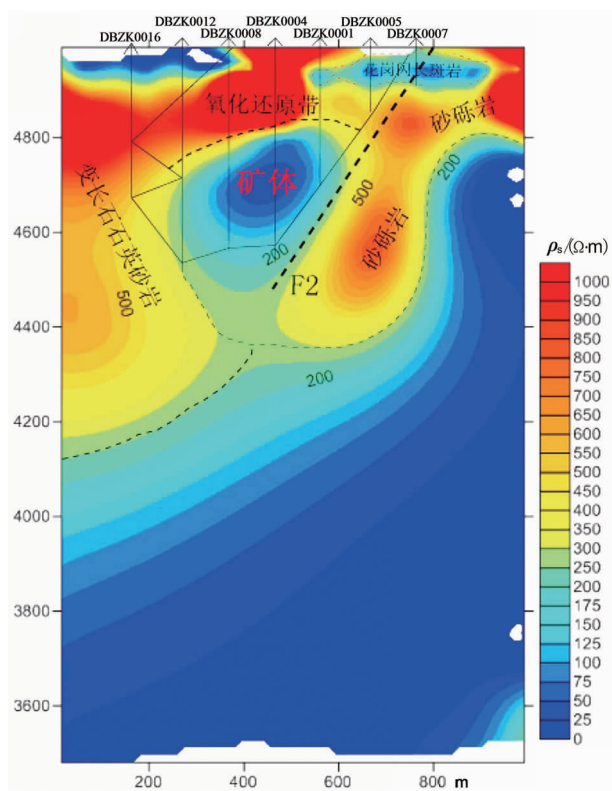


图6 试验剖面音频大地电磁测深视电阻率断面图

Fig. 6 Cross section of AMT resistivity of test profile

- [7] 左焕成,郑伟,吴小勇,等. 综合物探在西藏尼木斑岩铜矿找矿中的应用[J]. 地质找矿论丛,2012,27(2):245-251.
- [8] 吴小勇,左焕成,王阳玲,等. 音频大地电磁测深在西藏某斑岩铜矿深部找矿中的应用[J]. 地质找矿论丛,2016,31(4):576-579.

Application of integrated geophysical methods to ore prospecting in Duobuza porphyry Cu (Au) deposit, Tibet

WANG Yangling, ZUO Huancheng, XIAO Yang, ZHU Lili, LIU Yongtao

(Sichuan Institute of Metallurgical geological Bureau, Chengdu 610051, China)

Abstract: High precision magnetic, IP intermediate gradient, IP sounding and ATM surveys etc., were jointly carried out at line 0 in Duobuza porphyry Cu deposit to make clear of variation of magnetism and electricity caused by the Cu (Au) ore bodies. Results show that the integration is effective for prospecting such ore. First the high precision magnetic survey is conducted to lineate the porphyry; at the same time IP intermediate gradient coverage to locate enrichment of sulfides, IP sounding to outline spatial distribution of the anomalies at the favorable metallogenic positions according to geological and geochemical data; then AMT sounding to obtain deep electric structural feature at profile and jointly judge it is a ore-caused anomaly. The integration is low in cost and prospecting risk.

Key Words: Duobuza porphyry Cu (Au) deposit; integrated geophysical methods; AMT sounding; Tibet