

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.

Jiao YanJie, Liao Guozhong, Li Hua, et al. The relationship of the alteration zonation in the Duobuza porphyry copper–gold deposit with pyrite——The foundation of geophysical method selection and anomaly interpretation[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1969–1979(in Chinese with English abstract).

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

焦彦杰 廖国忠 李 华 张 伟 李 富 杨俊波

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要: 西藏多不杂斑岩铜金矿是近年来新发现的一个矿床, 位于班公湖—怒江成矿带西段。多不杂矿床由内向外发育钾化、绢英岩化、青磐岩化, 钾化主要发育于花岗闪长斑岩出露区域, 绢英岩化环绕钾化带发育, 并叠加在钾化带之上, 青磐岩化在矿床西侧呈团块状发育。本文阐述了钻孔中 Cu 品位趋势线与多不杂矿床有序分带的关系, 进一步说明了钾化带与矿体存在密切对应关系。通过黄铁矿分布趋势与实际矿体对比分析, 以及岩石地球物理性质研究, 得出含矿花岗闪长斑岩体为中高电阻率、极化率的初步结论, 然后在典型矿床进行方法试验和地球化学数据处理, 根据推断结果和实际矿体位置, 认为矿体主要赋存于中浅部中高电阻率、极化率及磁场梯级带、Cu–As–Sb–Au 高背景区域, 进一步完善了方法选择, 为多不杂斑岩型矿床预测研究提供了基础。

关键词: 多不杂; 斑岩铜矿; 蚀变; 黄铁矿

中图分类号: P618.41; P618.51; P631 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2015)06–1969–11

The relationship of the alteration zonation in the Duobuza porphyry copper–gold deposit with pyrite——The foundation of geophysical method selection and anomaly interpretation

JIAO Yan–Jie, LIAO Guo–zhong, LI Hua, ZHANG Wei, LI Fu, YANG Jun–bo

(Chengdu Center of Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Duobuza porphyry copper deposit was discovered in recent years in Tibet. It is located in the western part of the Bangong Co–Nujiang River metallogenic belt. From the interior to the outer part of this deposit, there exists zoning of potassic alteration, phyllic alteration and propylitization. Potassic alteration is mainly developed in the granodiorite porphyry outcropping area, sericitization is developed surrounding the potassic alteration zone and superimposed upon the potassic alteration zone, and propylitization occurs in lamps on the western side of the deposit. This paper expounds the relationship between the grade tendency line of Cu in the drill hole and the orderly zoning in the Duobuza deposit, and further demonstrates that the potassic alteration zone

收稿日期: 2014–10–13; 改回日期: 2015–02–13

基金资助: 国家重点基础研究发展计划“973 计划”(2011CB403105)、中国地质调查局地质调查项目(1212011502701、12120114050701)联合资助。

作者简介: 焦彦杰, 男, 1978 年生, 高级工程师, 主要从事地球物理勘查与方法研究、地质找矿方面的工作; E-mail: 57641101@qq.com。

and the orebody have a close corresponding relationship. Based on the pyrite distribution trend and the actual ore comparative analysis as well as the study of rock geophysical properties the authors reached the preliminary conclusion that the ore-bearing granite diorite porphyry is characterized by high resistivity and polarizability. On such a basis, method test and geochemical data processing were conducted in typical deposits. According to the inferred results and actual orebody position, it is held that the orebody mainly occurs in the high resistivity, high polarizability and magnetic field gradient zone, whereas Cu-As-Sb-Au high background area is located in the shallow part. The results obtained by the authors further improve the method choice and provide the basis for the prognostic work in the Duobuza porphyry deposit.

Key words: Duobuza; porphyry copper deposit; alteration; pyrite

About the first author: JIAO Yan-jie, male, born in 1978, senior engineer, mainly engages in geophysical exploration and method research as well as ore-prospecting work; E-mail:57641101@qq.com.

西藏多龙整装勘查区地处羌塘—三江复合板片南缘,属于班公湖—怒江成矿带,本次研究对象为整装勘查区中北部的多不杂斑岩铜金矿区。多不杂矿区斑岩铜金矿地处西藏阿里地区改则县境内,位于改则县城北西方向约90 km。目前已经控制的铜资源量超过700万t,品位0.46%~1.13%,金资源量超过110 t,品位0.15~0.26 g/t,多不杂矿床已经成为班公湖—怒江带内研究程度最高的大型斑岩型矿床之一,是整个青藏高原重要的矿产资源接续基地^[1-2]。

世界上大部分斑岩型铜矿普遍具有分带现象,多不杂斑岩铜金矿也不例外,同样具有岩性分带和金属分带现象。尽管有研究人员提出自斑岩体—围岩初步划分为钾化带—石英绢云母化带—青磐岩化带(表现为变长石石英砂岩中的条带状绿泥石、绿帘石化、硅化)—褐铁矿化角岩带,并在这方面有所研究,但缺乏与矿体关系的研究。另外在金属矿勘查中,黄铁矿做为常量矿物,经常与具有工业价值的金属矿伴生,严重干扰着金属矿勘查工作。以往研究往往忽视了矿床与黄铁矿的关系,导致勘查和工程验证效果不佳。有研究者曾提出“激电异常—矿体—磁异常”有序分带模式^[13],但这一观点能否完全说明其存在普遍性,还有待于进一步证实。本文通过研究斑岩型铜金矿分带现象,矿床与黄铁矿的关系等方面,从地质归纳和物探方法选择与异常解释基础角度出发,结合物探工作成果,初步探讨了多不杂斑岩铜金矿的勘查技术方法^[2]。

1 矿区地质特征

多不杂矿区矿床分布主要为:根据地表及深部工程圈定两个铜矿体,由北向南分别为 I、II 号矿

体,其中 I 号矿体为矿区内的主矿体。矿区出露地层较为简单,主要为:中侏罗统曲色组二岩段(J_2q^2)、下白垩统美日切组(K_1m)、新近系康托组(N_1k)、第四系(Q)。构造活动发育而强烈,以断裂构造为主,具长期性,多期次活动特征;岩浆活动十分频繁、强烈,岩浆活动总体上以喷发、喷溢及超浅成侵入为主。多不杂矿区主要为花岗闪长斑岩($\gamma\delta\pi_3^3$)、辉绿岩($\beta\mu_3^3$)、玄武质安山岩($\alpha\beta_3^3$)。

本次工作主要在多不杂矿区北部区域进行,北部的花岗闪长斑岩体在地表呈“入字型”,近EW向展布,长约2000 m,宽100~320 m。北部的花岗闪长斑岩岩体、接触带、近岩围岩是主要的成矿地段,显示多不杂铜矿与花岗闪长斑岩($\gamma\delta\pi_3^3$)关系密切。辉绿岩($\beta\mu_3^3$)围岩为曲色组变砂岩,呈侵入接触关系,在接触带附近未见明显的矿化蚀变^[3-4]。玄武质安山岩($\alpha\beta_3^3$)出露于含矿斑岩体北侧,呈北东向条带状展布,为向南倾斜(倾角约45°)的板状体(图1)。

2 蚀变分带性关系研究

2.1 斑岩型铜金矿的有序分带性

一般花岗闪长斑岩型铜多金属矿都具有一定的蚀变分带性,多不杂矿区形成以岩体为中心不完全的面型环带状蚀变带。蚀变范围受岩体规模、产状、形态控制,蚀变类型、强弱则与岩体的距离有关。在岩体、近岩体处蚀变强烈、以热液蚀变为主,向围岩中蚀变逐渐减弱,并以热接触蚀变为主,远离岩体蚀变逐渐减弱或消失^[5-6]。

自斑岩体—围岩初步划分为钾化带—石英绢云母化带—青磐岩化带(表现为变长石石英砂岩中的条带状绿泥石、绿帘石化、硅化)—褐铁矿化角岩带,未见钾硅化(黑云母化、石膏化)带,各蚀变带的矿

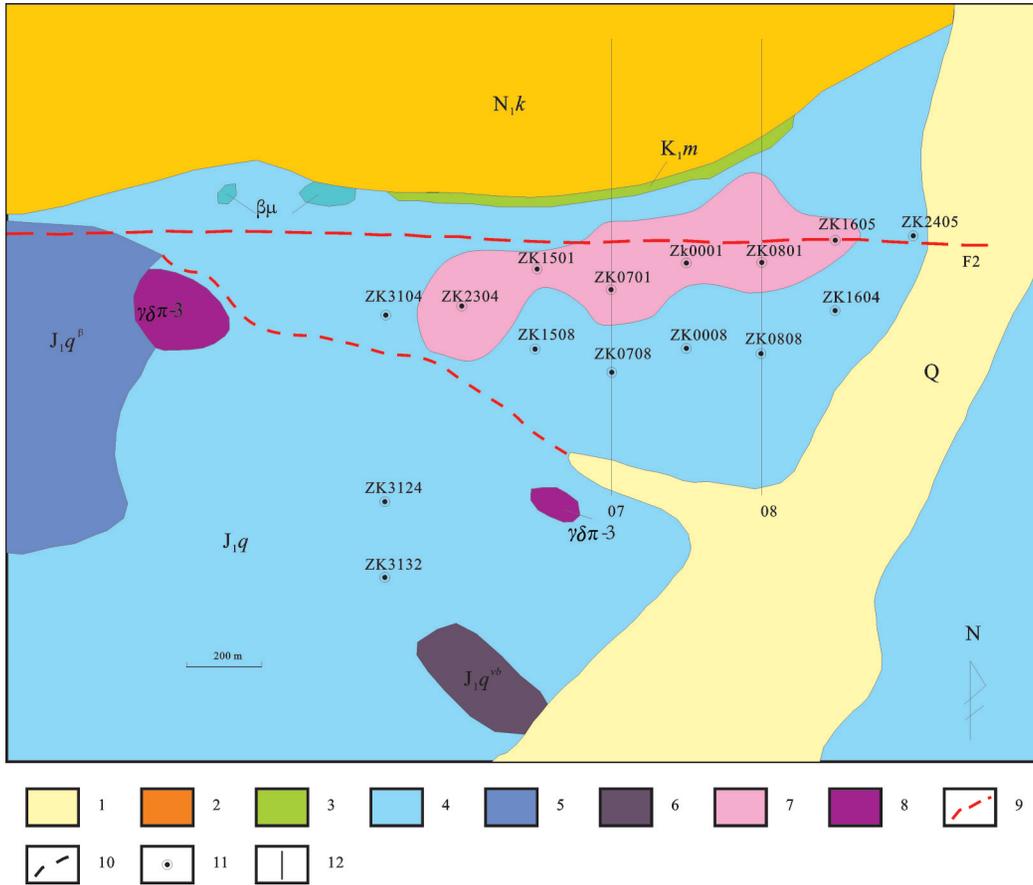


图1 多不杂矿区地质简图^①

1—第四系残坡积物;2—中新统康托组砂砾岩;3—下白垩统美日切组英安岩;4—下侏罗统曲色组石英砂岩;
5—下侏罗统曲色组玄武安山岩;6—下侏罗统曲色组火山角砾岩;7—第一期花岗闪长斑岩;8—第三期花岗闪长斑岩;
9—推断断层;10—地质界线;11—钻孔;12—地球物理测线

Fig.1 Geological sketch map of the Duobuza copper deposit (modified after ①)

1-Quaternary sediments; 2-Conglomerate of Miocene Kangtuo Formation; 3-Dacite of Lower Cretaceous Meiriqie Formation;
4-Quartz sandstone of Lower Jurassic Quse Formation; 5-Basalt-andesite of Lower Jurassic Quse Formation;
6-Volcanic breccia of Lower Jurassic Quse Formation; 7-First stage of granodiorite porphyry; 8-Third stage of granodiorite porphyry;
9- Inferred fault; 10- Geological boundary; 11-Drill hole; 12-Geophysical survey line

化特征也有明显差异。

钾化带主要分布于矿床的中部,可分为钾长石化和黑云母化,均伴生强硅化。绢英岩化带环绕钾化带发育,主要蚀变矿物组合为绢云母、石英、绿泥石、黄铁矿(褐铁矿)等,主要表现为岩石发生弱至中等硅化,有较多石英-黄铜矿-黄铁矿(褐铁矿)脉在岩石中穿插,沿脉的边缘常见绿泥石化和铁染-褐铁矿薄膜。青磐岩化带分布于多不杂斑岩铜矿的最外侧,主要蚀变矿物组合为绿帘石、绿泥石、方解石,并见有少量黄铁矿矿化。

斑岩岩体中以浸染状、细脉状黄铜矿化为主,铜品位较低,由于矿化不均匀,局部达到矿体边界品位;岩体与围岩的内外接触带部位,以脉状、网脉状黄铜矿化为主,铜品位明显增高;外侧青磐岩化变长石石英砂岩中以脉状、细脉状、浸染状黄铜矿化为主,铜品位逐渐降低。花岗闪长斑岩岩体及岩体外侧青磐岩化变长石石英砂岩是矿区重要的赋矿岩石。

显示花岗闪长斑岩岩体既是成矿母岩,也是赋矿岩石;而岩体外侧青磐岩化变长石石英砂岩仅为

①陈华安,等.西藏自治区改则县多不杂矿区铜矿普查报告. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队,2010.

赋矿岩石^[5-6]。

2.2 斑岩型铜金矿床蚀变分带与矿体关系

利用多不杂矿区所有钻孔Cu品位的地球化学分析资料,并按照不同海拔高程划分出Cu品位分布趋势线,再根据斑岩型矿床蚀变分布特征,进一步研究蚀变分带与矿体的一些关系。由图2可知,海拔5000 m,铜的总体形态以东北方向的钾化带为中心分布,且范围较广,部分“切割”了钾化带,铜近地表为何分布范围较广呢?这可能与此斑岩体高侵位后,受地表氧化等因素有关。4900~4800 m,铜沿

钾化带呈环绕分布,范围逐步扩大,趋势与地质界线相似。说明铜的分布与花岗闪长斑岩体有密切关系,且有一定的分带。到了4700 m,铜分布范围发生明显缩小,表明在此位置矿体深部边界发生了收缩改变,这一表现与地球物理勘查结果相当吻合(图3)。而4600 m,铜又有向南扩展的趋势,根据地质资料,在此深度矿体中心向南西方向偏移^[7-11]。

总体来说,矿体基本围绕斑岩体呈带状分布,而钾化带为该矿床的蚀变中心与矿体关系密切。绢英岩化带环绕钾化带发育,远离钾化带蚀变中

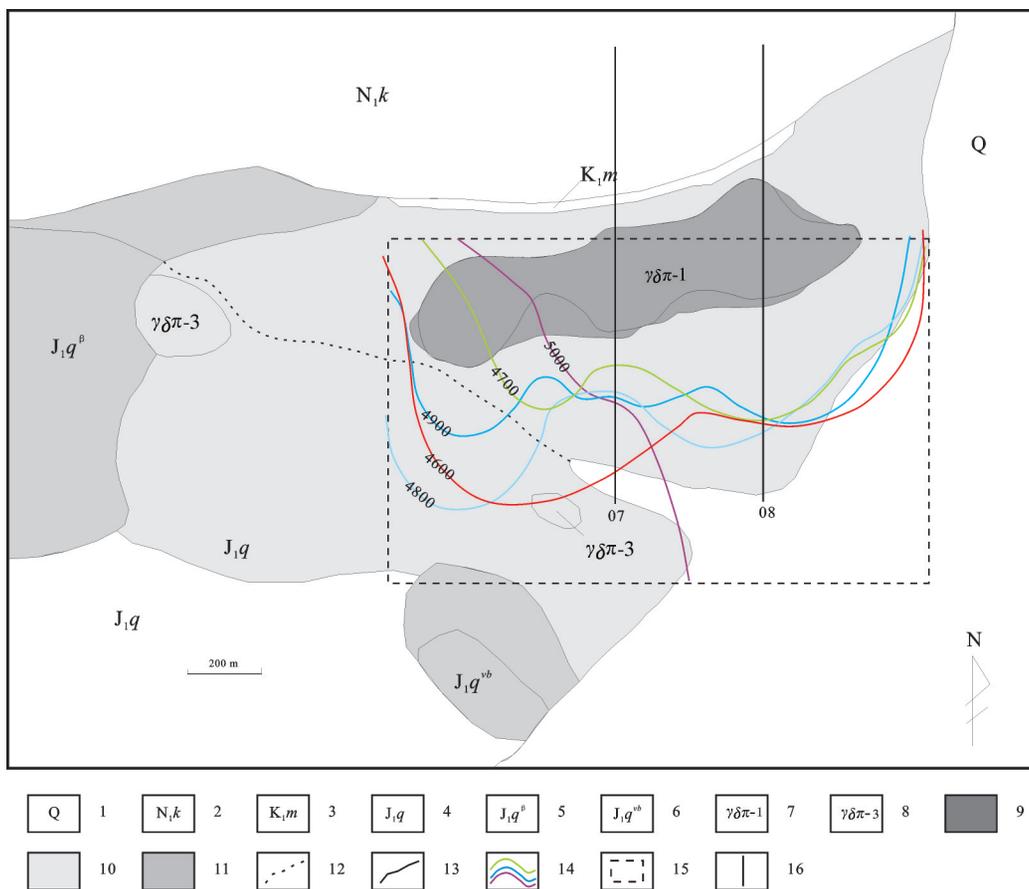


图2 多不杂铜金矿床蚀变分带图

- 1—第四系残坡积物;2—中新统康托组砂砾岩;3—下白垩统美日切组英安岩;4—下侏罗统曲色组石英砂岩;5—下侏罗统曲色组玄武安山岩;6—下侏罗统曲色组火山角砾岩;7—第一期花岗闪长斑岩;8—第三期花岗闪长斑岩;9—钾化带;10—绢英岩化带;11—青磐岩化带;
- 12—推断断层;13—地质界线;14—不同海拔Cu%趋势线;15—Cu%、FeS%研究范围;16—地球物理测线

Fig.2 Alteration zoning of the Duobuza porphyry Cu-Au deposit

- 1—Quaternary sediments; 2—Conglomerate of Miocene Kangtuo Formation; 3—Dacite of Lower Cretaceous Meirique Formation; 4—Quartz sandstone of Lower Jurassic Quse Formation; 5—Basalt-andesite of Lower Jurassic Quse Formation; 6—Volcanic breccia of Lower Jurassic Quse Formation;
- 7—First stage of granodiorite porphyry; 8—Third stage of granodiorite porphyry; 9—Potassic alteration zone; 10—Phyllic alteration zone;
- 11—Propylitic alteration; 12—Inferred fault; 13—Geological boundary; 14—Trend line of Cu% at different altitudes;
- 15—Study range of Cu% and FeS%; 16—Geophysical survey line

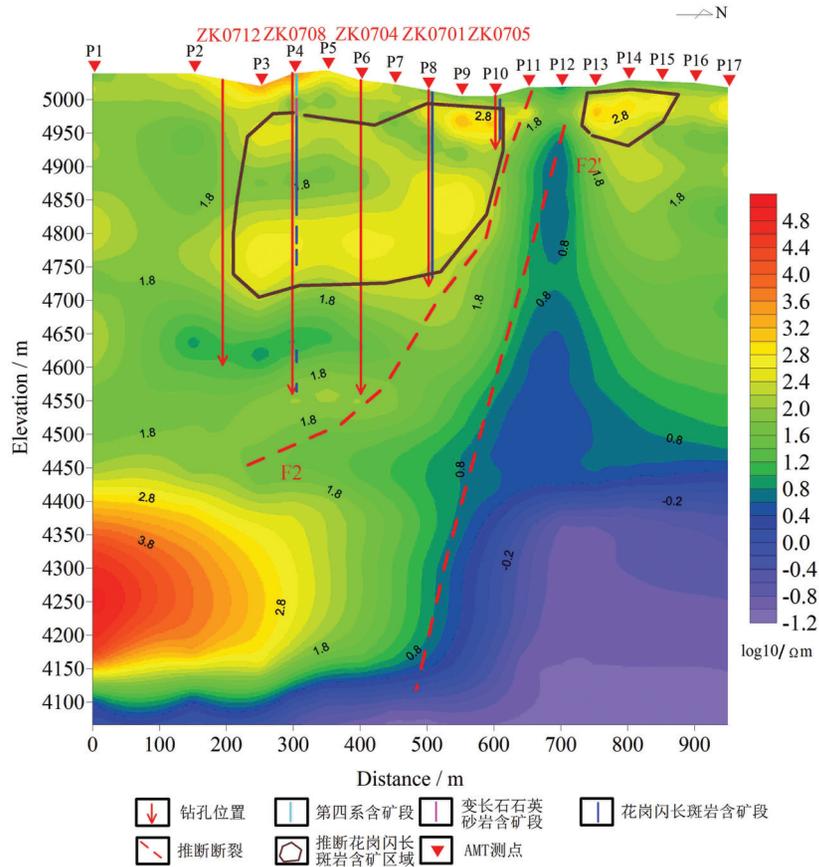


图3 07线AMT电阻率二维反演与推断解释图
Fig. 3 AMT 2D resistivity inversion and inference along 07 line

心,也逐渐减弱,矿体品位相应降低。

3 斑岩型铜金矿床与黄铁矿关系

在很多金属矿勘查中,无论是地球物理勘查或是地质信息提取,黄铁矿都是一个重要的干扰因素,笔者将问题反过来考虑,通过对矿体与黄铁矿的关系进行量化研究,试图探寻其中的一些规律。

3.1 一般斑岩铜金矿与黄铁矿

近年来,在富金斑岩铜矿床外围发现了金,证明潜在的金矿化环绕铜矿床大致呈同心带状分布。在一个理想的富金斑岩体系中,其复合分带形式从体系中央向外为:(1)无矿核;(2)钼;(3)斑铜矿-金;(4)黄铜矿;(5)黄铁矿晕(金含在剪切带和远端矽卡岩中);(6)铅-锌-银;(7)远端浅成低温热液金矿带^[2]。Jerome在1966年(转引自文献[2])总结出了富金斑岩铜矿体被黄铁矿晕及黄铁矿化带包围(图4)。由此可见,尽管黄铁矿经常与金属矿伴生,但

还存在一定的规律性。

3.2 多不杂斑岩铜金矿与黄铁矿

同样,多不杂斑岩铜金矿与黄铁矿是否具有这样的关系呢?根据多不杂勘探线钻孔地球化学分析资料,利用铜品位地球化学分析资料以及黄铁矿含量(赋值系数)做出不同深度等值线对比图(图5)。总体上可以看出,黄铁矿主要分布在矿区的东南部,铜矿主要分布在矿区西北部。在浅部,铜矿体与黄铁矿分布有着密切联系,相互有所伴生。往深部,铜矿体与黄铁矿分布范围逐渐分离。在纵向上,边界品位(0.2%)以上的铜矿体主要集中在-100~-300 m,趋势为低-高一低。而在此深度(-100~-300 m)围绕铜边界品位等值线以南,分布为黄铁矿高值区,但在-80 m以浅,利用此方法总结的这一规律不明显。

在浅部可以利用08勘探线的高密度电法反演剖面与钻孔资料对比分析,如图6所示,ZK0801、

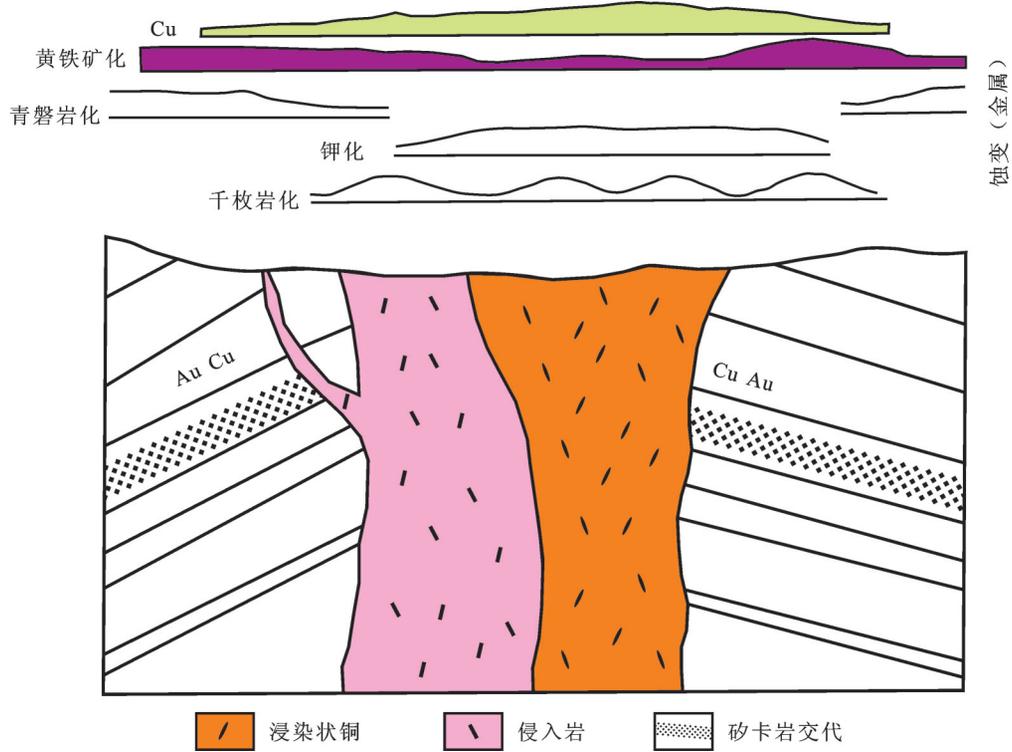


图4 斑岩铜金矿分带模式图(转引自文献[2]修改)
Fig.4 Porphyry copper gold zoning pattern

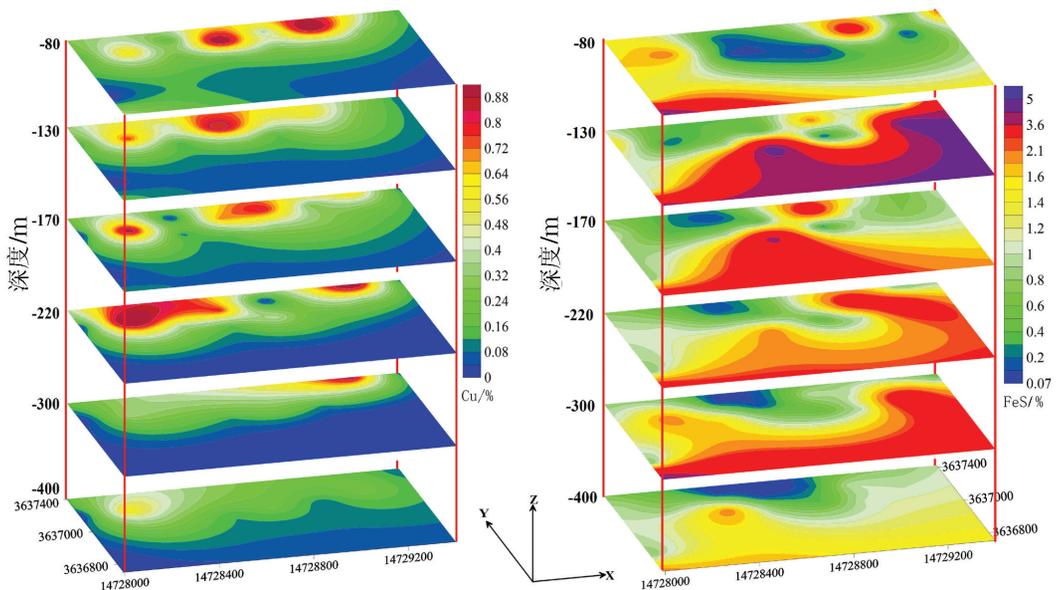


图5 多不杂矿区铜矿体、黄铁矿分布图
Fig.5 Distribution of copper orebodies and pyrite in the Duobuza ore district

ZK0802 验证过的含矿钻孔,从断面图可以看出, ZK0801 左(南)端的高极化率区域并不是含矿部位,根据经验推断高极化率为黄铁矿,地质资料也

证实了这一推断。因此,无论从数值分析还是地球物理勘查结果来看,尽管黄铁矿分布范围较广,跟铜矿体有伴生关系,但还是具有一定的分带性、规律性。

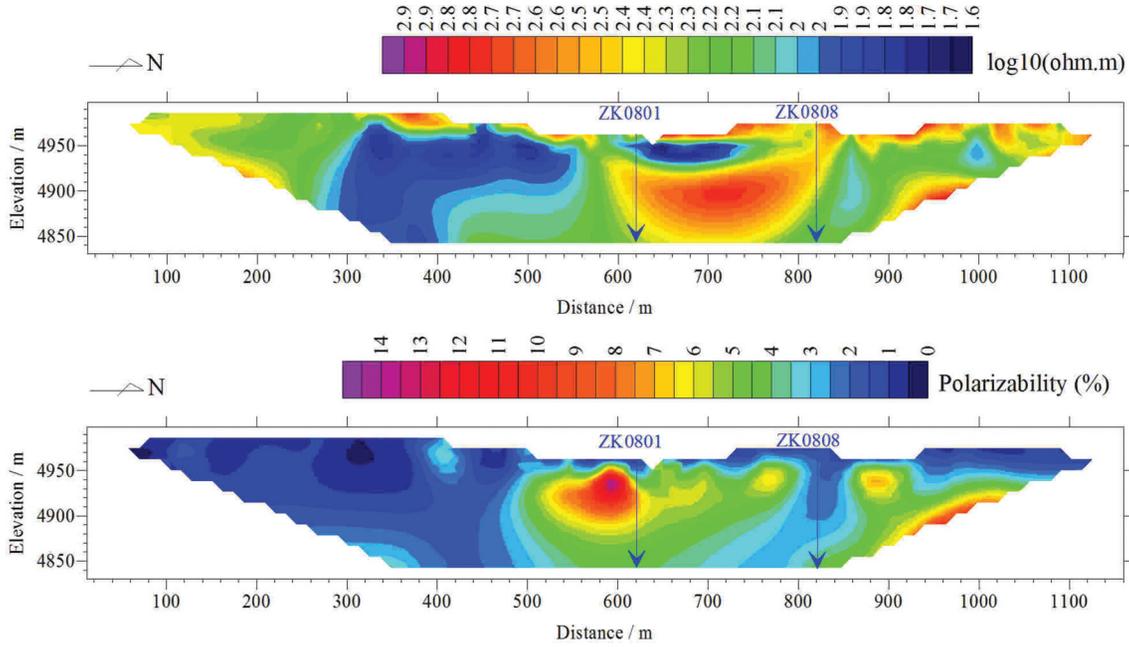


图6 08线视电阻率、极化率反演断面图
Fig.6 ρ_s 、 η_s inversion cross section along 08 line

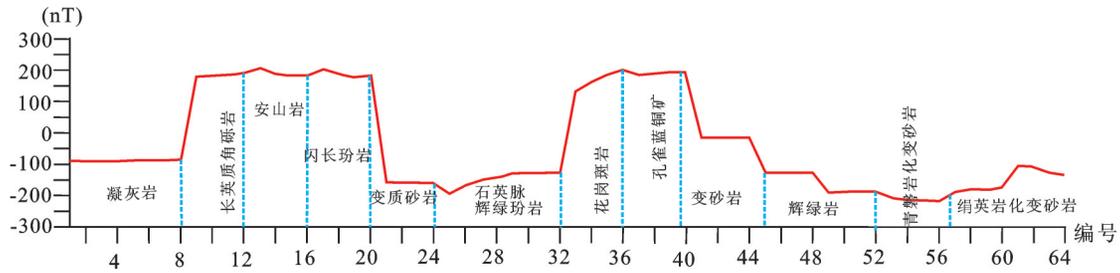


图7 多不杂矿区磁性参数异常曲线
Fig.7 Magnetic anomaly curve parameters of the Duobuza ore district

4 技术方法初步讨论

理清上述关系以后,开展物性研究,才能有的放矢。当物性条件能清楚分辨目标体与围岩的差别时,地球物理勘查较为简单,但当不易分辨时,尤其是针对干扰因素,需要进行更为精细的关系研究和规律总结。

4.1 地球物理特征与物性研究

首先,跟岩体有关的矿产勘查需要先认识本磁场特征,本区的物性磁性参数测试,结果表明,高磁异常主要集中在安山岩、闪长玢岩、花岗斑岩及矿体(图7),矿区曾开展了1:5000高精度磁法,磁场总

体上具有东疏西密、北疏南密的基本特征。同时,局部磁异常受构造控制的特征较明显,具有成带分布、成群出现与分段集中的特点。低磁异常沿北东向断裂带呈串珠状分布,主要与燕山中晚期中酸性岩体侵入有关。

通过钻探验证,花岗斑岩体位置与4#异常基本吻合,磁异常呈现南正北负的特点,北东、东西方向展布,形态近似一个椭圆状,长轴方向为偏东西,单个异常规模范围不大。整个异常带由5个局部磁异常组成,异常特点为磁性强度较高,正异常周边伴有负异常。异常范围内为花岗闪长斑岩所覆盖(图8),由于安山岩、闪长玢岩也为高磁性体,对于矿的

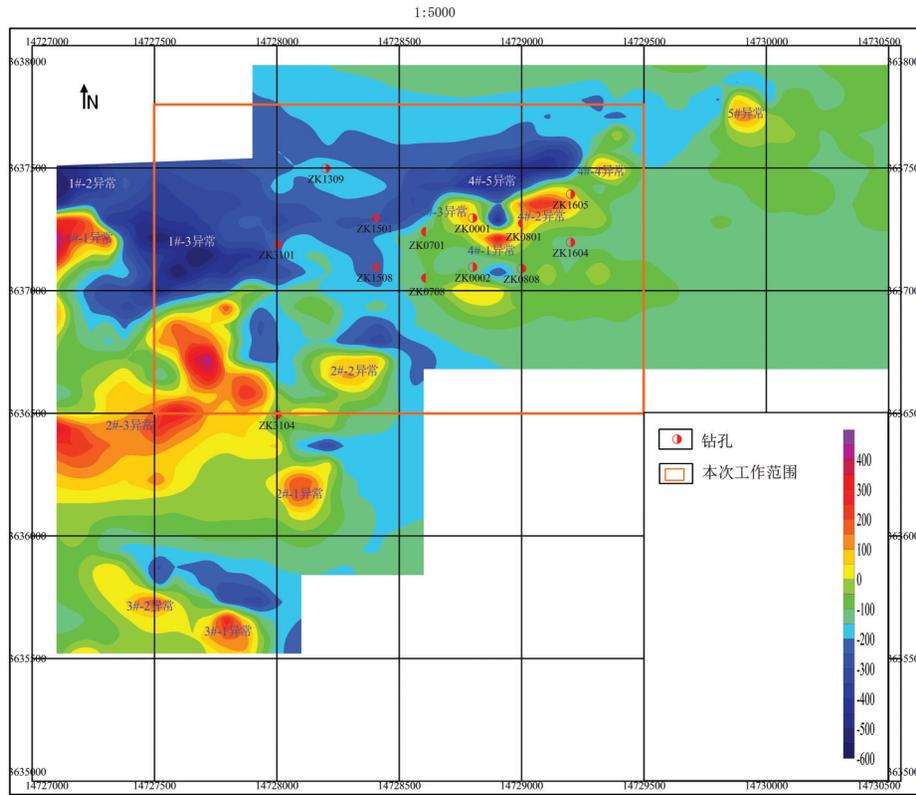


图8 多不杂矿区 ΔT异常等值线图
Fig.8 ΔT anomaly contour map of the Duobuza ore district

判断还需其他地球物理参数加以论证。

从岩石标本其他参数测试及物性统计分析来看,矿区的岩(矿)石电阻率大致可以分为高电阻率、中等电阻率和低电阻率三类(图9)。高电阻率的岩(矿)石有辉绿岩、安山玢岩、玄武质安山岩、花岗闪长斑岩等,电阻率均在1500 Ω·m以上;属于低电阻率的岩(矿)石有变长石石英砂岩、变质砂岩、角砾岩、第四纪残坡积物等,其电阻率小于500 Ω·m;其他各种岩(矿)石电阻率属于中等,其电阻率在500~1500 Ω·m。

为了对岩石电阻率、极化率参数及典型矿床进一步研究,在多不杂矿区07、08勘探线上开展了AMT音频大地电磁测深工作,使用加拿大凤凰公司生产的V8多功能电磁法综合测量系统主机和2个MTU-3E电法仪器进行测量。针对测量数据,应用加拿大凤凰公司SSMT2000、MTEDITE软件进行编辑,剔除受干扰的、信噪比低的互功率谱文件,进一步提高资料质量。之后,在反演方案上,笔者以传统的OCCAM2D反演确定大致地电断面,利用

Smoothness constrained least-squares反演来突出高阻体,同时两种反演的结果又互相印证。最后再结合地质情况,进行定性推断解释。如图3所示,07线反演解释结果总体来看,电阻率呈现左高右低,测线电阻率整体较高且变化不大。从图可知,在海拔4733 m处,基本为电阻率等值线高低值分界线,高值区域电阻率为250~1000 Ω·m,等值线形态基本连续。275~288 m(4733~4720 m)为玄武质安山岩,岩石破碎程度高。从岩石物性资料来看,玄武质安山岩电阻率比花岗斑岩高,但由于岩石破碎,致使其电阻率降低,又根据等值线形态,推断ZK0701深部不含斑岩铜矿体。后根据钻孔验证资料及物探探测结果分析,钻孔ZK0701,0~275 m(海拔5008~4733 m)为花岗闪长斑岩,全部为斑岩型铜矿,均达到工业品位。

另外,非矿化岩石极化率较低,且比较稳定,平均极化率都小于3%,而孔雀石化、黄铁矿化的岩石极化率略高一些,一般在3%~6%,随着金属硫化物含量的增多,极化率在增高,最高可达22.04%。虽

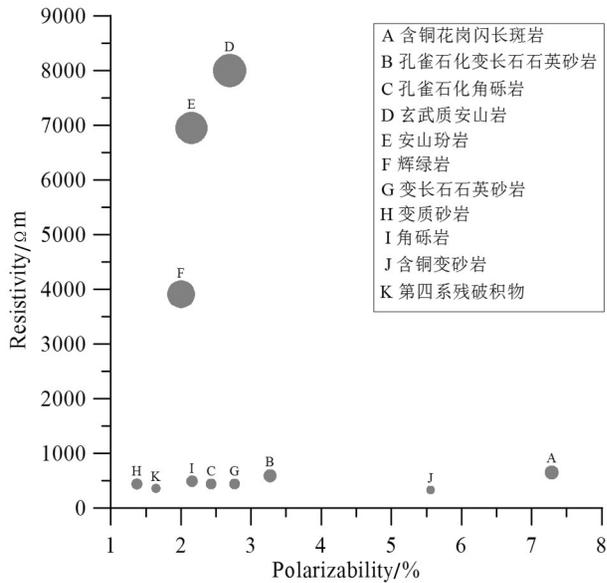


图9 多不杂矿区岩石物性分析图
Fig. 9 Petrophysical analysis diagram of the Duobuza ore district

然黄铁矿化作为干扰因素始终存在,但根据前面各种关系的研究,在多不杂矿区,黄铁矿与矿体是存在一定分布规律的。

综上所述,含铜花岗闪长斑岩表现出中高电阻率特征,在极化率方面,由于黄铁矿(化)的存在,含铜花岗闪长斑岩属于中高极化率。其磁性特征可以从前人研究和物性资料知道,属于中高磁性体,按照前人的一些结论,单纯从磁法异常结果来分析是不全面的,磁异常与矿体实际位置会有所偏移。

4.2 找矿预测与方法讨论

目前对于斑岩型铜金多金属矿勘查,首先是利用地面磁法或者航空磁法来圈定具有这一类磁异常性质的有利地区。在中大比例尺方法中主要利用激电、地面高精度磁法进一步圈定矿体,然而物探能做到的是利用激发极化法寻找到以金属矿为主的硫化物带和利用磁法寻找到以铁磁性矿物为主的成矿母岩体,那么铜矿体究竟赋存在何处呢?特别是当地表覆盖既有激电异常又有磁异常时该怎样判断呢^[12]?

如图10所示,ZK0701、ZK0708两个钻孔自近地表至-300 m均见矿,ZK0701见矿较为完整。但其位置不处于极化率极值异常,而是处于极值的一翼。在磁法剖面上,矿体位于正负异常上。相对来

看,比较明显的是矿体位于磁值明显变化的高低梯级带附近。这与前人研究提出的“激电异常-矿体-磁异常”有序分带模式有所不同^[13]。究其原因,笔者认为,斑岩铜金多金属矿受区域深大断裂控制,构造、断裂的交切部位和强烈的破碎带是重要的控矿、控矿构造,而这在磁场值上往往反映出密集的梯级带,因此,当出现磁异常梯级带时,再根据极化率剖面的异常和前面论述综合判断,基本能够圈出矿体所在的位置^[14-17]。

从找矿预测角度来讲,归纳起来有以下几点:

(1)矿区处于活动大陆边缘,侵入的花岗闪长斑岩属含矿岩体(Cu、Ag、As、Sb、Bi元素含量明显高于同类型侵入岩),是有利的成矿母岩,岩体多呈小岩株或脉状产出。

(2)NNE向断裂与区域串珠状磁异常关系密切,既是导矿构造,也可能是断矿构造。它控制含矿岩体的空间分布,另外EW向构造也值得重视。

(3)矿区与铜矿化关系密切的蚀变有青磐岩化、硅化、钾化、绢云母化、碳酸盐化,由矿化中心向外具有明显分带性。铜矿化与青磐岩化强弱有关,蚀变强铜矿化呈细脉状,蚀变弱铜矿化呈浸染状。

(4)1:20万区域化探异常是此类矿床普查找矿的主要线索,大面积、高背景中低温热液元素Cu-As-Sb-Hg-Bi-Zn组合异常是化探异常的重要特征。1:5万~1:2万加密化探采样是发现地表蚀变矿化的有效手段,其组合异常是Cu-As-Sb-Au-Ag-Bi-Sn-Mo-Zn-Pb。

(5)激发极化法辅以高精度磁测,是圈定矿化体,寻找矿体富集部位的主要物探手段。矿体的异常特征为高极化率(3%~7%)、低电阻率(100~500 Ω·m)和弱正磁异常(20~100 nT)。极化率高异常(>8%)则应注意黄铁矿与矿体的关系研究,多方面避免干扰因素。

(6)AMT或其他大探测深度电磁法是深部矿体二维或三维定位的有效手段,对于断裂分辨率较高,成像断面上矿(化)体呈中高阻特征,可据此对矿体和围岩直接进行推断解释^[18]。

5 结论

寻找深部隐伏矿首先应以地质要素为先导,控矿因素为前提,即地层控制、岩浆岩、构造、蚀变等

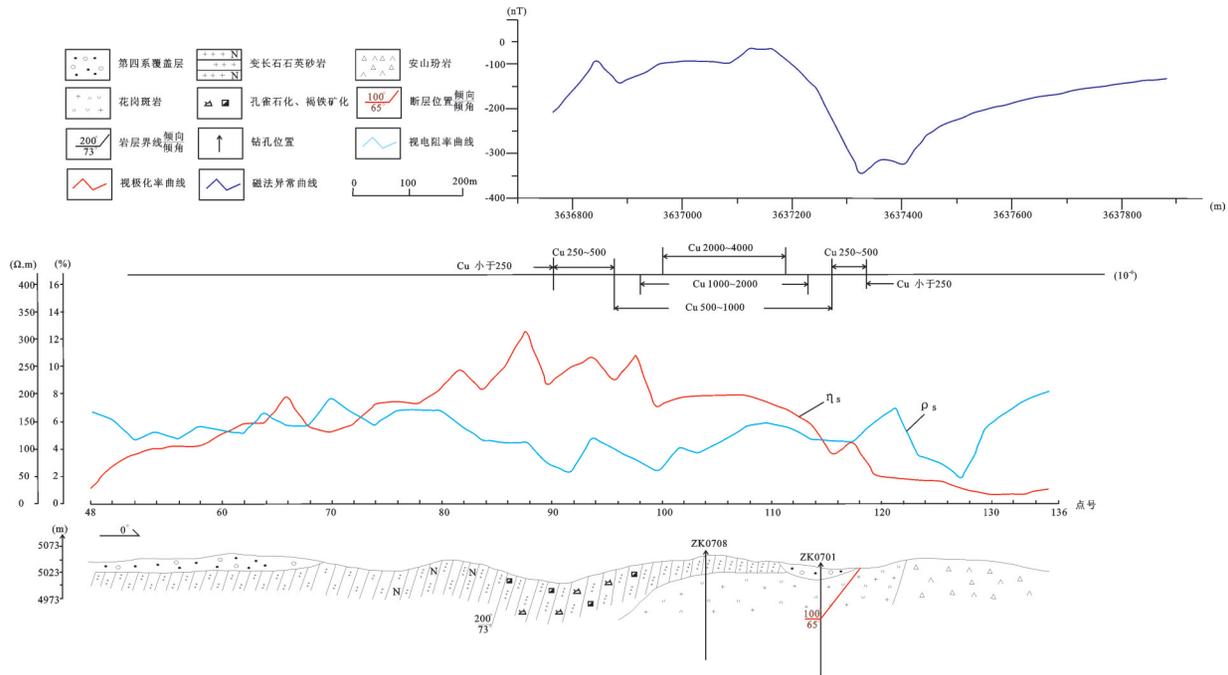


图 10 多不杂矿区 07 线 ρ_s, η_s 地质剖面图
 Fig. 10 ρ_s, η_s exploration geological profile along 07 line of the Duobuza ore district

因素,有了这些前提条件,再进行成矿模式与模型的初步建立,最后再通过典型矿床研究,进行方法讨论,进而建立找矿预测模式。

对于斑岩型矿床勘查,以前大致的准则之一是“三位一体”(斑岩体-孔雀石-激电异常)的找矿模式是可行的,但需要考虑,当地表无斑岩体,无孔雀石,仅有激电异常怎么办?另外,多大的岩体规模,岩体的岩石性质组合符合前期斑岩型矿床勘查工作,多大幅度的激电异常就可进行钻探验证?实际上“三位一体”无法对地质特征进行量化,因此导致工作困难。笔者认为,仅仅利用此模式来进行判断依据不够充分,还需要根据斑岩型矿床的特点,建立矿区地球物理物性和地球化学参数模型,分析其蚀变分带性质;再根据矫正后的磁异常特点,以及极化性质进行初步判断;结合深部地球物理勘查方法组合综合分析,进行矿体预测。

总之,目前寻找隐伏矿难度越来越大,有必要对地质工作进行立体调查研究。多种勘查技术方法组合综合分析是获得深部成矿、示矿信息的唯一途径,是取得成矿认识的主要途径。通过地下浅、中、深不同层次勘查方法的选择,对地质找矿前景具有清晰的认识和可靠的评价。

致谢:感谢李光明研究员、王永华教授在项目 and 论文撰写中的支持和帮助,文章在修改过程中,编辑部王学明老师提出了详细和宝贵意见,在此一并感谢。

参考文献(References):

[1] 李光明,段志明,刘波,等. 西藏班公湖—怒江结合带北缘多龙地区侏罗纪增生杂岩的识别及意义[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1256-1260.
 Li Guangming, Duan Zhiming, Liu Bo, et al. Discovery and its geologic significance of Jurassic accretionary complexes in Duolong district, northern Bangonghu-Nujiang suture, Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(8): 1256-1260(in Chinese with English abstract).

[2] Brian K Janes. Metal zonation in porphyry copper system exploration application[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1992,43.

[3] 高风志. 德兴铜厂斑岩型铜钼矿床的围岩蚀变研究[J]. 上海地质, 1992, 42(2): 24-34.
 Gao Fengzhi. Alter ation of Dexin porphyry copper[J]. Shanghai Geology, 1992, 42(2): 24-34(in Chinese with English abstract).

[4] 芮宗瑶,黄崇轲,齐国明,等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984, 1-350.
 Rao Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, et al. Chinese Porphyry Cu(Mu) Deposit[M]. Beijing: Geological Publishing

- House, 1984: 1-350(in Chinese with English abstract).
- [5] 李光明, 李金祥, 秦克章, 等. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 935-952.
Li Guangming, Li Jinxiang, Qin Kezhang, et al. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghutectionic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5): 935-952(in Chinese with English abstract).
- [6] 李金祥, 李光明, 秦克章, 等. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代: 对成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报, 2008, 24(3): 531-543.
Li Jinxiang, Li Guangming, Qin Kezhang, et al. Geochemistry of porphyries and volcanic rocks and ore-forming geochronology of Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in Bangonghu belt, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic setting[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(3): 531-543(in Chinese with English abstract).
- [7] 王翠云, 李晓峰, 肖荣, 等. 德兴朱砂红斑岩铜矿热液蚀变作用及元素地球化学迁移规律[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 3869-3886.
Wang Cuiyun, Li Xiaofeng, Xiao Rong, et al. Elements mobilization of mineralized porphyry rocks during hydrothermal alteration at Zhushahong porphyry copper deposit, Dexing district, South China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(12): 3869-3886(in Chinese with English abstract).
- [8] 邹国富, 朱春蓉, 赵冲全, 等. 春都斑岩型铜矿围岩蚀变特征及找矿前景[J]. 江西有色金属, 2010, 24(3/4): 61-63.
Zou Guofu, Zhu Chunrong, Zhao Chongquan, et al. On wall rock alteration features of Chundu porphyry copper and its prospecting perspective[J]. Jiangxi Nonferrous Metals, 2010, 24(3/4): 61-63(in Chinese with English abstract).
- [9] 王奖臻, 李朝阳, 胡瑞忠. 斑岩铜矿研究的若干进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 514-519.
Wang Jiangzhen, Li Chaoyang, Hu Ruizhong. Research Progress in porphyry copper deposit[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(4): 514-519(in Chinese with English abstract).
- [10] 常成, 孙景贵. 斑岩型多金属矿床成矿规律及成矿条件研究——以吉林省东部小西南岔金铜矿床为例[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2007, 8(3): 56-60.
Chang Cheng, Sun Jinggui. Study on metallogenic regularity and mineralization conditions of the porphyry type polymetallic ore deposit in eastern Jilin Province: Taken Xiaoxinancha gold-copper deposit as an example[J]. Changchun Inst. Tech.(Nat.Sci. Edi), 2007, 8(3): 56-60(in Chinese with English abstract).
- [11] 侯增谦, 钟大赉, 邓万明. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 1-14.
Hou Zengqian, Zhong Dalai, Deng Wanming. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geology in China, 2004, 31(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- [12] 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.
Wang Yanlan, Yu Youshun, Yang Guilin, et al. The application of D.C electrical sounding in iron ore exploration[J]. Resources Environment and Engineering, 2007, 21(4): 447-449(in Chinese with English abstract).
- [13] 张征, 庄道泽, 杨俊波. 利用“激电异常-铜矿体-磁异常”有序分带的模式判断铜矿体赋存位置[J]. 物探与化探, 2007, 31(增刊): 81-84.
Zhang Zheng, Zhuang Daoze, Yang Juntao. The application of the “IP anomaly copper ore body magnetie anomaly ordered zoning model” to locating copper ore bodies[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(supp): 81-84(in Chinese with English abstract).
- [14] 江少卿, 孙兴国, 杨铁铮, 等. 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, 2014, 41(2): 497-509.
Jiang Shaoqing, Sun Xingguo, Yang Tiezheng, et al. Integrated anomaly model and metallogenic prediction of the Duolong porphyry copper-gold ore concentration area in northern Tibet[J]. Geology in China, 2014, 41(2): 497-509(in Chinese with English abstract).
- [15] 方向, 唐菊兴, 李彦波, 等. 西藏多龙矿集区拿若铜(金)矿床成矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 936-950.
Fang Xiang, Tang Juxing, Li Yanbo, et al. Metallogenic element spatial distribution of the Naruo copper (gold) deposit in the Duolong ore concentration area of Tibet and its geochemical exploration model[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 936-950(in Chinese with English abstract).
- [16] 孙兴国, 冯道永, 粟登远, 等. 西藏班公湖带铁格隆南超大型斑岩铜(金)矿床的勘查突破及区域找矿意义[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1314-1327.
Sun Xingguo, Feng Daoyong, Su Dengkui, et al. The exploration breakthrough of the Tiegelongnan superlarge porphyry Cu (Au) deposit, Bangong Lake arc, Tibet, and its significance[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1314 - 1327(in Chinese with English abstract).
- [17] 刘崇民, 李应桂, 胡树起. 黄铁矿型铜多金属矿床地球化学元素组合及找矿评价标志[J]. 物探与化探, 2000, 24(6): 412-417.
Liu Chongmin, Li Yinggui, Hu Shuqi. Geochemical element associations and ore-prospecting criteria of pyrite type copper-polymetallic deposits[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2000, 24(6): 412 - 417(in Chinese with English abstract).
- [18] 叶益信, 邓居智, 方根显. 高频大地电磁测深(EH-4)在热储构造勘查中的试验研究——以抚州地热区为例[J]. 地质与勘探, 2011, 47(4): 650-653.
Ye Yixin, Deng Juzhi, Fang Genxian. The test research of high frequency magnetotelluric sounding to reservoir survey: Taking the Fuzhou geothermal area in Jingxi Province as an example[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(4): 650-653(in Chinese with English abstract).