

藏北多龙斑岩铜金矿集区综合信息找矿模型研究

江少卿^{1,2} 孙兴国³ 杨铁铮¹ 李丽¹ 印贤波³ 王策¹ 潘燕兵¹

(1. 中铝矿产资源有限公司, 北京 100082; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 中铝西藏矿业股份有限公司, 西藏拉萨 814000)

摘要: 藏北多龙矿集区产出环境和成矿动力学背景在青藏高原斑岩铜矿中独具特色, 目前已经发现了多龙、多不杂、拿若、荣那等超大型—大型斑岩铜(金)矿, 其有效找矿模式亟待研究总结。典型矿床的综合信息找矿模型研究对于进一步开展矿体定位预测具有重要意义。研究认为多龙矿集区铜金矿体产于花岗闪长斑岩体内及岩体边部的黄铁绢英岩化和青磐岩化变质(长石)石英砂岩及火山岩中。自含斑岩体中心向外存在中心对称分布的3个蚀变带, 依次为弱钾化带、绢英岩化带和黄铁矿化—角岩化带。根据地、物、化、遥异常套合特征, 划分出“三带五田”。“三带”为呈北西向雁列状排列的拿若—色那—尕尔勤铜金矿带、多不杂—波龙—铁格隆南铜金矿带和地堡那木岗铜金矿带; “五田”为拿若—赛角—荣那矿田、尕尔勤矿田、地堡那木岗矿田、波龙—多不杂矿田和铁格隆南矿田, 并分别厘定了各矿田的基本组成与矿床地质特征。通过地、物、化综合异常分析, 建立了“四位一体”找矿模式。指出铁帽、孔雀石化和蚀变花岗闪长斑岩体为地表寻找斑岩铜矿的直接标志; 低磁异常间接反映遭受蚀变的花岗闪长斑岩体成矿母岩; 激电高极化异常直接反映斑岩型铜矿体两翼的黄铁矿化带, 间接反映硫化物带包裹着铜矿体; Cu、Au元素高异常反映成矿元素的区域富集。以此为基础, 对拿若、荣那矿区掩埋矿体运用了“四位一体”找矿模式, 发现隐伏斑岩型铜矿床。

关键词: 蚀变分带; 地化异常; 磁法异常; 斑岩铜矿; 找矿模式; 西藏多龙

中图分类号: P618; P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)02-0497-13

1 引言

多龙矿集区位于青藏高原藏北腹地, 地处班公湖—怒江结合带北缘、南羌塘盆地。由于大地构造的特殊性和良好的地质背景, 历来备受中外地质学家的关注^[1-9]。矿床模型及找矿模型是国内外矿床学、矿床勘查学研究的的前沿和热点之一^[10-16], 对找矿有重要的指导意义。目前, 在找矿目标以隐伏矿床为主、找矿难度日趋加大的形势下, 单一找矿方法难以奏效, 因此综合信息找矿模型研究逐渐成为主流^[17-19]。自多龙斑岩型铜金矿床发现以来, 众多学者对其多龙矿集区较早发现的波龙、多不杂矿床的成矿地质背景、矿床特征和成矿机理做了一定的研究^[20-28]。对多龙矿集区找矿方法缺乏系统研究, 找矿模式缺乏总结。对区域物探、化探、遥感资料的

综合利用和研究, 不仅对区域构造的时空划分具有重要意义, 而且对区域成矿规律和矿产预测也有十分重要的意义。本文将基于对藏北多龙地区典型矿床中铜、金等重点矿种的综合物化探信息进行综合研究, 构建多源信息找矿模型, 并有望提高多龙地区寻找铜、金矿床的勘查效果。

2 成矿地质背景

多龙矿集区大地构造上位于羌塘—三江复合板片与冈底斯—念青唐古拉板片的结合部, 即班公错—怒江缝合带。在带内发现金、铜、铬等金属矿(点)床成带展布, 从而构成了班公错—怒江金铜多金属成矿带。

2.1 区域岩石建造

多龙矿集区位于班公错—怒江金铜多金属成

收稿日期: 2013-10-28; 改回日期: 2014-01-15

作者简介: 江少卿, 男, 1983年生, 博士, 矿床学专业, 主要从事矿产普查与勘探研究; E-mail: jiangshaoqing83@163.com。

矿带西段之北缘,区内地层主要为中生界中侏罗统曲色组、色哇组滨海相碎屑岩建造,下白垩统美日切组火山碎屑岩建造和新生界新近系康托组陆源碎屑岩夹火山岩建造^[29]。中侏罗统曲色组(J_2q)可分二个岩性段,第一岩性段(J_2q^1)为粉砂质板岩夹(长石)石英砂岩及灰岩、辉绿岩、辉长岩、安山岩、英安岩。拿顿金矿体就赋存在该岩性段的下部层位中;第二岩性段(J_2q^2)为(长石)石英砂岩、粉砂质板岩夹硅质岩、玄武岩、基性火山熔岩、英安岩。多不杂、波龙铜矿就赋存在该岩性段中(图1)。中侏罗统色哇组(J_2s)可分二个岩性段,第一岩性段(J_2s^1)为(长石)石英砂岩、砂砾岩夹粉砂质板岩、英安岩、流纹岩、火山角砾岩;第二岩性段(J_2s^2)为石英砂岩夹砂质板岩。拿若、色那铜金矿体就赋存在

该岩性段中。

多龙矿集区岩浆活动十分频繁、强烈^[22,30-31],岩浆活动总体上以喷发、喷溢及超浅成侵入为主,基性、中酸性、酸性岩体均有出露,规模一般较小,往往是成带状、串珠状展布,成群出现,受断裂构造的控制明显,并具多期活动特征。形成时间为晚侏罗—早白垩世^[32-33]。其中早白垩世花岗闪长斑岩和花岗斑岩是矿集区内斑岩型铜矿的主要赋矿岩体。

多龙矿集区构造活动强烈,以断裂构造为主,总体有3组(图1):(1)近东西向断裂构造为矿区规模大,形成时间最早,活动时间最长,具有张扭性特征的断裂构造,也是矿区的导矿和控矿构造;(2)北东向断裂晚于东西向断裂,并切割东西向断裂;(3)北西向断裂是形成最晚的一组断裂,并切割北东向

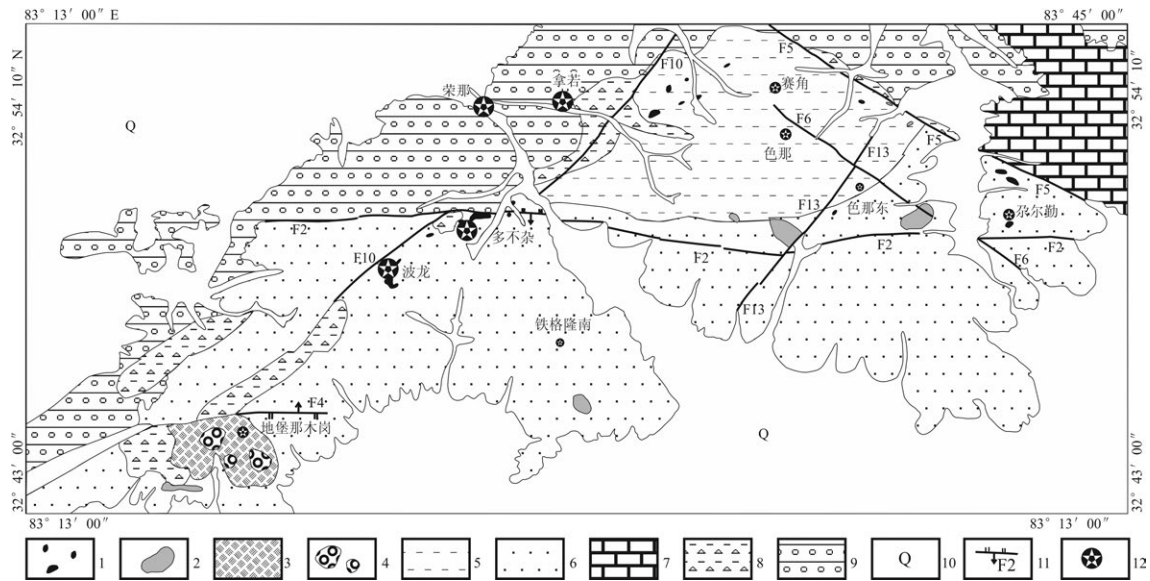


图1 多龙矿集区区域地质图(据①修改)

1—早白垩世花岗闪长斑岩($K_1r\delta\pi$);2—早白垩世花岗斑岩($K_1\gamma\pi$);3—早白垩世二长斑岩($K_1\eta\gamma\pi$);4—早白垩世石英斑岩($K_1\lambda o\pi$);5—下中侏罗统色哇组(J_{1-2s}):变质(长石)石英砂岩砂砾岩夹深灰色至深黑色变质石英粉砂岩;6—下侏罗统曲色组(J_1q):变质(长石)石英砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩、夹硅质岩、灰绿色玄武岩、基性火山熔岩;7—上三叠统日干配错组(T_3r):厚层状灰岩;8—下白垩统美日切组(K_1m)火山角砾岩;9—上渐新统康托组(E_3k)棕红色粘土及砂砾石层;10—第四系(Q)残坡积物;11—断层;12—铜矿床(点)

Fig. 1 Regional geological map of the Duolong ore-concentration area (modified after ①)

1—Early Cretaceous granodiorite porphyry ($K_1r\delta\pi$); 2—Early Cretaceous granitic porphyry ($K_1\gamma\pi$); 3—Early Cretaceous monzonite porphyry ($K_1\eta\gamma\pi$); 4—Early Cretaceous quartz porphyry ($K_1\lambda o\pi$); 5—Lower Middle Jurassic Sewa Formation (J_{1-2s}): altered quartz sandstone conglomerate interbedded with deep black to dark gray altered quartz siltstone; 6—Lower Jurassic Quse Formation (J_1q): altered quartz sandstone, siltstone, silty slate, siliceous rocks, grayish green basalt, mafic volcanic lava; 7—Upper Triassic Riganpeicuo Formation (T_3r); 8—Volcanic breccia in Lower Cretaceous Meiriqiecuo Formation (K_1m); 9—Red-brown clay and gravel layers in Upper Oligocene Kangtuo Formation (E_3k); 10—Quaternary (Q) residual-slope wash materials; 11—Fault; 12—Copper deposit (ore spot)

①陈红旗,李玉昌,王丽惠,等. 西藏多龙1:50000地质报告[R]. 格尔木:西藏地勘局地质五队,2012.

断裂。在北东向和北西断裂的交汇处一般发现有火山机构和火山角砾岩以及隐爆角砾岩筒,且土壤化探综合异常在这些部位反映较好。

2.2 含矿斑岩地质特征

矿集区斑岩主要沿断裂以NE向、NW向和SN向分布于以下区块:(1)拿若、荣那、赛角等处花岗闪长斑岩($K_1r\delta\pi$),呈串珠状主要分布于北东向断裂F10与北西向断裂F7的交叉处,出露面积约0.52 km²;(2)色那与色那东一带花岗闪长斑岩、花岗斑岩,呈岩瘤少量出露,主要分布于北东向断裂F12与北西向断裂F6的交汇部位,斑岩出露面积约0.2 km²;(3)在波龙与多不杂一带主要出露花岗闪长斑岩等($K_1\eta\gamma\pi$),呈岩瘤状分布于北东向断裂F10,东西向断裂F2,出露面积约0.52 km²;(4)铁格隆南—色那东,花岗斑岩($K_1\gamma\pi$)在该带呈岩瘤少量出露,在该区域分布有北东向断裂F7、北西向断裂F13、F6控制,出露面积约1.987 km²;(5)尕尔勤,在该处出露三处花岗闪长斑岩($K_1r\delta\pi$),主要分布于北西向断裂F5与东西向断裂F2的交叉处,出露面积约0.87 km²;(6)铁格隆南,早白垩世石英斑岩呈岩瘤产出,侵入到二长斑岩中,并且石英斑岩边部具典型的冷凝边。二长斑岩体北侧,发育东西向F4断裂。石英斑岩出露面积约1.823 km²。

研究区出露的均为早白垩世斑岩,包括花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩等、石英斑岩、花岗斑岩、闪长玢岩,其中花岗闪长斑岩是主要赋矿岩体。

3 典型矿床地质特征

根据地表铁帽、孔雀石化等地表特征,结合遥感构造解译反映出多龙矿集区环形构造、线性构造、火山机构、蚀变岩体特征明显^[34],而且土壤化探异常多、规模大、强度高,经少量物探和地表工程揭露等矿化资料初步分析,认为多龙矿集区东起尕尔勤、经色那、铁格隆、多不杂、拿顿、西到地堡那木岗一线全长近100 km,向西可能仍有延伸,是一个铜金成矿极为有利的地带。圈出5个矿田:拿若—色那—赛角矿田;波龙—多不杂矿田;铁格隆矿田;尕尔勤矿田;地堡那木岗矿田。波龙和多不杂大型斑岩铜金矿前人已有描述^[21, 26-28],此文不再重述。其

中:拿若—色那—赛角矿田中的拿若铜—金矿为2012年发现的大型斑岩铜矿,现对拿若铜—金矿床地质特征介绍如下:

拿若铜—金矿床位于多龙矿集区北东部。地层出露较为简单,北东、北西向断裂构造较为发育,中酸性侵入岩呈串珠状近东西向展布(图1)。地表花岗闪长斑岩仅在拿若沟谷两侧有两处出露(图2),岩体呈岩瘤产出在色哇组变质(长石)石英砂岩中,面积约0.05 km²。含矿斑岩体呈灰白—灰绿色,岩石具斑状和似斑状结构,块状构造。从地表至深部出露岩石依次为:第四系碎屑,厚5~15 m;美日切错组安山岩,厚10~50 m;变质(长石)石英砂岩,自地

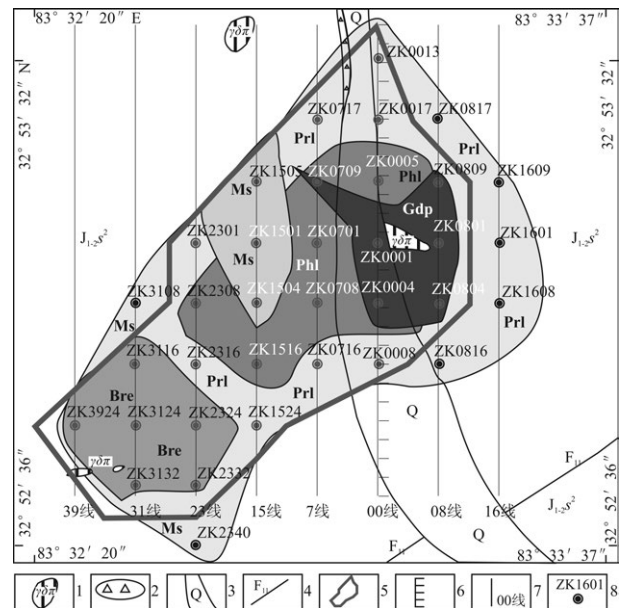


图2 拿若铜金矿地质图(据①修改)

- 1—早白垩世花岗闪长斑岩;2—角岩;3—第四系残坡积物;
4—断层;5—Cu矿体;6—激电测深剖面;7—勘探线;8—钻孔;
J_{1-2s2}下侏罗统色哇组二段:变质石英砂岩、变质(长石)石英砂岩
夹深灰色粉砂质板岩;Gdp—隐伏花岗闪长斑岩体;Phl—黄铁绢
岩化带;Prl—青磐岩化带;Ms—泥化带;Bre—引爆角砾岩筒

Fig.2 Geological map of the Naruo Cu-Au deposit
(modified after ①)

- 1—Early Cretaceous granodiorite-porphry; 2—hornfels;
3—Quaternary residual-slope wash materials; 4—Fault; 5—Cu
orebody; 6—IP survey profile; 7—Exploration line; 8—Drill hole;
J_{1-2s2} 2nd Member of lower Middle Jurassic strata: altered quartz
sandstone, altered (feldspathic) quartz sandstone interbedded with
dark gray silty slate; Gdp—Concealed granodiorite porphyry;
Phl—Pyritized phyllic zone; Prl—Propylitized belt; Ms—Argillic zone;
Bre—Cryptoexploration breccias

①束登奎,侯俊福,孙兴国,等.西藏拿若2013年度详查报告[R].拉萨:中铝西藏矿业有限公司,2013.

表 30 m 以深均有分布,为赋矿围岩;花岗闪长斑岩体,主要分布于 07 线至 08 线之间,为隐伏岩体,位于美日切错组安山岩之下,从钻孔特征分析与安山岩为不整合接触;引爆角砾岩筒,主要分布于矿区西侧的 39 线与 23 线之间,位于安山岩之下,结合已知钻孔见矿特征,分布有引爆角砾岩筒的位置铜矿化均变差,且金品位低于 0.15 g/t,不具备斑岩成矿早期和成矿期的容矿和导矿特征,为晚于成矿的破矿构造。

3.1 矿体地质

矿体由 8 条勘探线(图 2), 35 个钻孔和 2 条槽探控制, 目前控制矿体东西向长 1400 m, 南北向宽 1600 m, 矿体垂深最厚约 406.37 m, 结合钻探、物探、化探、地质测量成果, 认为斑岩体及矿体近北东向展布, 并向南西方向有较大的延伸, 而且矿体深部具有一定的找矿前景。

铜矿体产出于花岗闪长斑岩体内及岩体边部的黄铁绢英岩化和青磐岩化变质(长石)石英砂岩

中, 总体为沿花岗闪长斑岩体内外接触带展布的“钟状体”(图 3)。斑岩体中裂隙发育较差, 含脉率约为 50~60 条/m, 脉宽一般为 1~3 mm, 黄铜矿呈细脉浸染状产出; 岩体与围岩的内外接触带部位, 裂隙十分发育, 以脉状、网脉状黄铜矿化为主, 铜品位明显增高; 在斑岩岩体外侧的青磐岩化变质(长石)石英砂岩中以脉状、细脉状黄铜矿化为主, 该类型的矿体在斑岩体的侧面厚度一般为 200~300 m, 在斑岩体的顶部矿体厚度可达 350 m, 自接触带向外侧铜品位逐渐下降, 黄铁矿逐渐增多, 形成环带状低品位的矿体; 自低品位的铜矿体再向外, 最终成为矿体围岩, 为黄铁矿化带, 呈环带状分布在铜矿体外侧, 厚度可达 400 m 以上, 变质(长石)石英砂岩中以黄铁矿为主, 偶见黄铜矿, 仅在局部达到铜矿体边界品位, 形成厚大矿体边部的薄层状、脉状分支铜矿体。

3.2 矿石特征

拿若铜矿以原生矿体为主, 斑岩及围岩矿石中

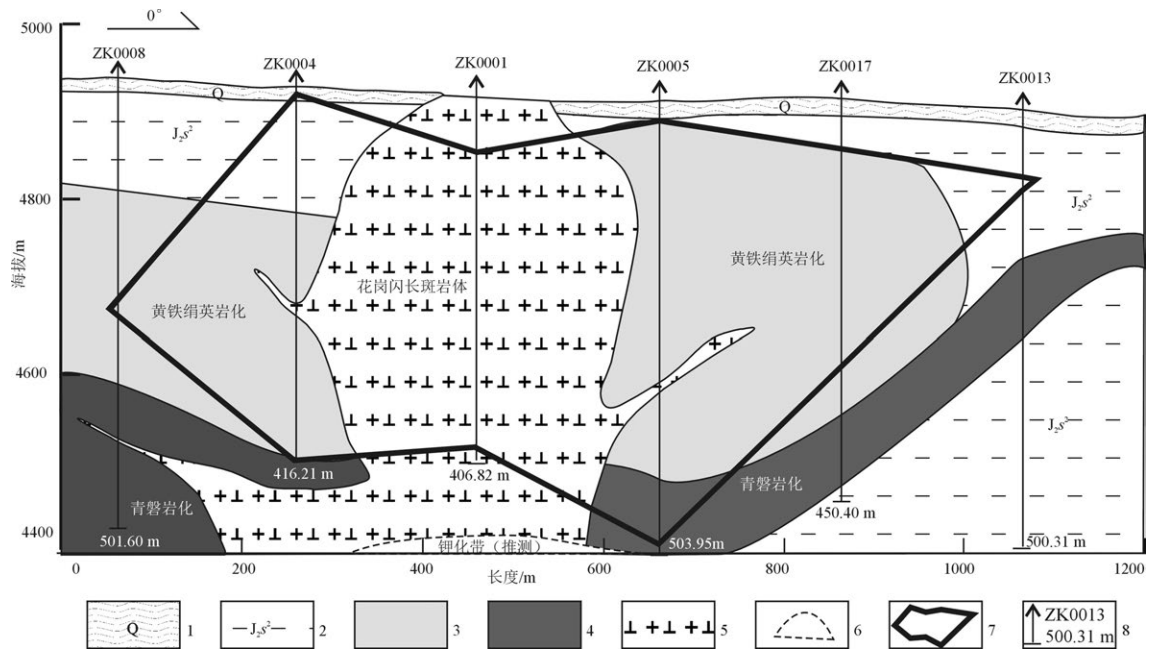


图 3 拿若 00 线剖面图(据 ①修改)

1—第四系; 2— J_2s^2 含褐铁矿化的变质(长石)石英砂岩等; 3—黄铁绢英岩化带; 4—含绿泥石化的青磐岩化带; 5—花岗闪长斑岩体; 6—推测钾化带; 7—铜金矿体; 8—钻孔、钻孔编号及孔深

Fig.3 Geological section along 00 line of the Naruo deposit (modified after ①)

1-Quaternary; 2- J_2s^2 -Limonite-bearing altered (feldspathic) quartz sandstone; 3-Pyritized phyllic zone; 4-Chlorite-bearing propylitic zone; 5-Granodiorite porphyry body; 6-Inferred potassic zone; 7-Cu-Au ore body; 8-Serial number and depth of drill hole

①束登奎, 侯俊福, 孙兴国, 等. 西藏拿若 2013 年度详查报告[R]. 拉萨: 中铝西藏矿业有限公司, 2013.

的金属矿物组成比较简单。原生矿体主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿等;表生氧化矿体中金属矿物主要有孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿、自然铜等。辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、砷黝铜矿等呈他形细粒浸染状、细脉状集合体赋存于花岗闪长斑岩和变质(长石)石英砂岩中;在近地表均有不同程度氧化,孔雀石、蓝铜矿呈薄膜状、纤维状集合体、团块状集合体赋存在花岗闪长斑岩、碎裂砂岩裂隙面上,局部地段见少量辉铜矿、自然铜。

3.3 矿化蚀变分带

拿若花岗闪长斑岩侵入到下中侏罗统色哇组二岩段(J_2s^2)变质(长石)石英砂岩、粉砂质板岩地层中。斑岩热液成矿过程中形成了以岩体为中心的面型环带状蚀变带。铜金矿体产于花岗闪长斑岩体内及岩体边部的黄铁绢英岩化和青磐岩化变质(长石)石英砂岩中。自含矿斑岩体中心向外存在3个中心对称分布的蚀变带,依次为弱钾化带、绢英岩化带和黄铁矿化-角岩化带(图3,表1~2)。

拿若铜金矿控矿因素主要是北东向和北西向两组线性断裂构成的菱形格架与环形构造的交切部位,它是导岩或导矿的有利空间,控制着岩体或次火山岩的形态、规模,为断裂构造-岩体控矿的斑岩型矿床。

4 地球化学异常

2008年,西藏地质五队1:50000水系沉积物测量工作成果表明^①,由于不同地区地质构造演化和构造-岩浆活动的差异,多龙地区Cu、Au元素的地球化学背景值高于西藏平均值和全国平均值。Cu元素:多龙地区平均值 26.5×10^{-6} >西藏平均值 23.8×10^{-6} >全国平均值 21.6×10^{-6} ;Au元素:多龙地区平均值 2.28×10^{-9} >西藏平均值 1.60×10^{-9} >全国平均值 1.31×10^{-9} ^①;表明多龙地区Cu、Au成矿元素局部富集趋势明显。

多龙矿集区Cu、Au元素异常清晰、分布面积大,三级浓集分带完整的元素依次为Au、Cu、Cr、

表1 围岩蚀变水平方向分带特征

Table 1 Alteration belts of host rocks in horizontal direction

水平分带	内带	中带	外带
蚀变组合	黄铁绢英岩化+粘土化	粘土化+黄铁绢英岩化+青磐岩化	青磐岩化
强度	强+弱	强+弱+强	强→弱
部位	斑岩体中心→外	外接带及附近	围岩
矿化类型	绢英岩化-硫化物等	绢英岩-硫化物、青磐岩-硫化物、 硅质+高岭土化-硫化物	青磐岩-硫化物, 块状硫化物
矿化分类	中强	—————→ 弱	

表2 斑岩体内蚀变垂直分带特征

Table 2 Alteration belts of porphyry ore bodies in vertical direction

垂直分带	上带(约50 m)	中带(约450 m)	下带(约30 m)
蚀变组合	黄铁绢英岩化+粘土化	黄铁绢英岩化+硬石膏化+软石膏化	弱钾化+硬石膏化+硅化
强度	强+弱	强+弱+强	弱+弱→强
部位	斑岩体顶部	斑岩体中→上部	斑岩体中→下部
矿化类型	绢英岩化-硫化物	绢英岩化-硫化物、绢英岩化+钾化-硫化物、 软石膏-明矾石-硫化物等	绢英岩化+钾化(弱)-硫化物,硬石膏- 硫化物、石英(+高岭石化)-硫化物
矿化分类	弱	—————→ 强 —————→ 弱	

①潘凤雏,樊俊青,任利民,等.西藏多龙1:50000水文报告[R].拉萨:西藏地质调查院,2008.

Pb、Ni、Mo、Ag、Sb、Hg、As、Zn、Bi、W、Sn。这说明区主成矿元素主要为Au、Cu、Mo,伴生元素Pb、Ag、Zn等元素。矿化剂元素为Sb、As等元素(图4)。

多龙矿集区测制5条岩石化学剖面及300 km²的化探扫面,发现:(1)Au在中侏罗色哇组中,平均含量为 8.99×10^{-9} ,高出地壳丰度值2倍。前缘元素As、Sb、Hg、Bi富集系数大于1,变差系数大于1,说明该地层中,部分元素局部富集,形成高背景区和异常。(2)Au在花岗闪长斑岩,平均含量为 11.3×10^{-9} ,富集系数为0.73,变差系数为0.81。Hg的富集系数为1.53,Pb、Hg、Bi变差系数大于1,说明花岗闪长斑岩在侵位时,有含矿热液向外扩散,在后期构造作用下,促使元素局部富集。(3)花岗闪长斑岩与围岩接触带附近,Au元素含量为 40×10^{-9} ,高出地壳丰度的9.3倍。Au、Ag、Cu、Pb、As、Bi、Mo等元素富集系数大于1,变差系数大于1,说明Au元素分布极不均匀,局部可富集成矿,也说明花岗闪长斑岩侵位时,携带大量含矿热液与围岩反应,形成了强烈的热液蚀变。

5 地球物理异常

5.1 矿集区地球物理场

2008年西藏地质调查院在多龙矿集区开展了1:50000高精度航磁勘查并在此基础上编制了1:50000

ΔT 磁异常平面等值线图(图5)。纵观全区,磁场总量异常总体为南正北负,东强西弱,且中部起伏跳跃的基本特征。研究区磁异常最高值达6800 nT;最低值为-2400 nT。研究区区域磁场分割成正磁场区、畸变场区和负磁场区3个磁场总量异常分布区。其中,正磁场区分布于畸变场区南侧,负磁场区分布于畸变场区北侧。三者界线非常清楚,异常总体特征明显。

畸变场区:位于研究区中段,总体为北东东走向,形成西窄东宽中部膨大的异常分布特征。使异常区总体形态呈似“菱”形,西端最窄处位于地堡那木岗,宽约2800 m;中间最宽处位于波龙—多不杂一线,宽度达13000 m左右;东端则位于色那—尕尔勤一线,宽度约8000 m。该异常区内磁异常剖面曲线起伏跳跃,正负间变化幅度较大,且具中间部位异常强度较大,东西两侧异常强度较小的基本特点。区内局部磁异常多呈北东向和北西向带状分布,显示了受构造控制的局部异常特征,是本区寻找隐伏铜多金属矿体的有利地带。

正磁场区:位于研究区南半部,西起地堡那木岗西侧一带,东至铁格隆南南侧一带,为一东宽西窄的正磁异常带。东半部磁场总量异常值一般为50~100 nT,东半部磁场总量异常值为150~400 nT,局部为500~1300 nT。展示了强磁异常体规模大而

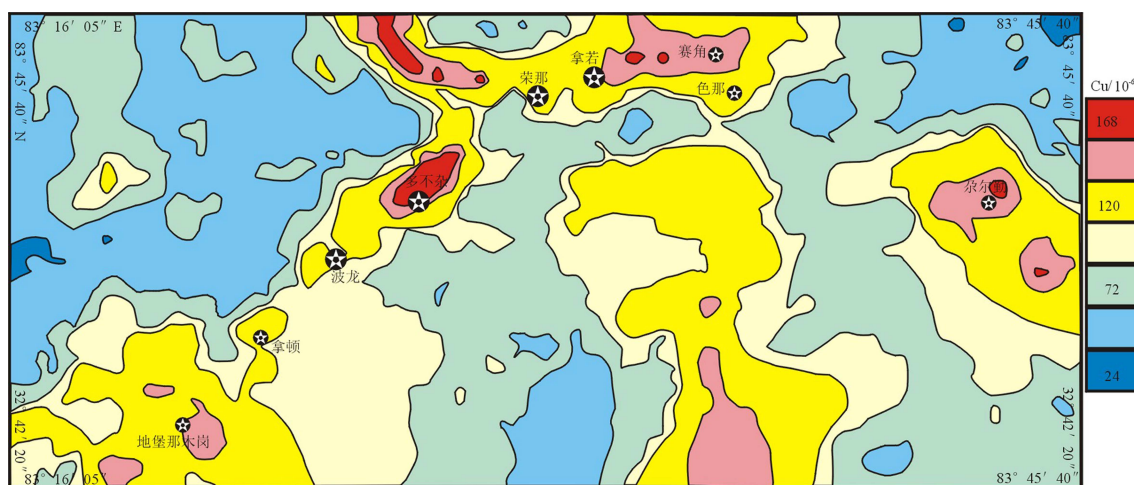


图4 多龙矿集区铜异常特征简图(据①修改)

★—铜矿床(点)

Fig.4 Simplified map of copper anomalies in Duolong area (modified after ①)

★—Copper deposit (ore spot)

①潘凤雏,樊俊青,任利民,等.西藏多龙1:50000水文报告[R].拉萨:西藏地质调查院,2008.

磁化较均匀的异常特征。

负磁场区:位于研究区北侧,总体呈西宽东窄,中间部位狭小的区域分布特征。区内负磁异常具有西弱东强的基本特点。西部弱负磁异常范围较广,西起地堡那木岗以西,东至拿若一荣那以东。最宽达 16600 m,最窄处约 1600 m,面积达 200 km²。该区内负磁异常强度一般在 50 nT 左右,局部出现微弱正磁异常,区内未见明显局部磁异常。总体上显示了平稳磁场区的区域场特征。

总体上看,研究区共圈定强磁异常 13 处,弱磁异常 22 处。其中(1)研究区中段的畸变场区:主要沿北东向断裂带呈串珠状分布,地层发育较全,主要与燕山中晚期中酸性岩体侵入有关,且构造复杂,后期岩浆侵入活动频繁,是寻找以铜金为主的中低温多金属矿体(床)的有利地带,也是重点找矿靶区;(2)研究区北部的负磁场区:主要位于新近系下新统康托组粘土及砂砾石层分布区,属陆相沉积地层。由于其形成时代较新,且构造及后期岩浆活动不明显,显示了平稳场特征;(3)研究区南部的正磁场区:除局部位于下侏罗统曲色组第一岩性段地层中外,大多被第四系所覆盖。由于下侏罗统曲色组一段砂质板岩、(长石)石英砂岩及灰岩均属无磁性或弱磁性岩石,不可能引起较强磁异常。因此,高磁异常沿北西、东西向断裂带呈串珠状分布,与早期断裂带内中基性岩体侵入有关,该区内除有可能隐伏有超镁铁质岩类岩石外,应是寻找隐伏铁磁性矿物的有利地段。

5.2 拿若矿床物探异常特征及解译

磁法和电法找矿在多龙矿集区取得了较好的效果,对于浅隐伏 Cu、Au 矿体具有快速寻找硫化物蚀变体的效果,对于深隐伏斑岩 Cu、Au 矿体结合激电测深具有精确定位硫化物矿体的效果,下文以拿若矿区物探异常特征进行论述:

研究区内 1:10000 地面高精度磁测异常显示,拿若矿区磁异常分布特征明显不同,磁异常总体走向以近东西向和近北西向为主,异常为正、负异常相伴,多个异常组合形成条带状异常区。 ΔT 负值区域较小,大范围内的磁场 ΔT 值为 -100~100 nT。研究区出露有石英砂岩、石英闪长岩、花岗闪长斑岩、安山岩等。

对研究区内分布的岩(矿)石标本的激电异常作了详细测定(表 3),从测定结果看,区内出露岩石的视极化率的常见值均小于 2%,出露岩石的视电阻率较高。说明研究区内的高视极化率低视电阻率异常可能为多金属硫化物矿体矿体或矿化体所产生。

拿若 00 线大地电磁测深根据剖面二维反演图,地电断面为 3 层结构(图 6):

第一电性层为高阻电性层(I),电阻率变化范围在 100~700 $\Omega \cdot m$,推断为中侏罗统色哇组(长石)石英砂岩,在剖面上从表层至 1500 m 范围内都有反映,是矿(化)体的围岩。

第二电性层为中低阻电性层(II),电阻率变化范围在 50~100 $\Omega \cdot m$,推断为青磐岩化变质(长石)石英砂岩,从表层至 1500 m 范围内不规则形状中低阻异常带。

第三电性层为低阻电性层(III),电阻率变化范围在 50 $\Omega \cdot m$ 以内,推断为蚀变强烈的含矿花岗闪长斑岩及斑岩体内外接触带,由于存在较高铜矿化及其他金属矿化,导致此类岩石的电阻率很低,在剖面上形成四个不规则形状低阻异常带。

6 综合异常成矿预测

6.1 综合异常模型构建

结合区内东西向、北西向、北东向 3 组构造和 Cu-Au 地球化学异常可把多龙矿集区分为 3 个地化

表 3 岩(矿)石电法电性参数测定统计^①

Table 3 Geophysical electrical parameters of rocks^①

岩(矿)石名称	测定数 /块	视极化率 $\eta_s/\%$		视电阻率 $\rho_s/\Omega \cdot m$	
		常见值	变化范围	常见值	变化范围
花岗闪长岩	20	1.5	1.3~1.8	376	201~594
安山岩	20	0.5	0.2~1	900	455~1250
石英砂岩	10	1.6	1.3~1.9	496	402~587

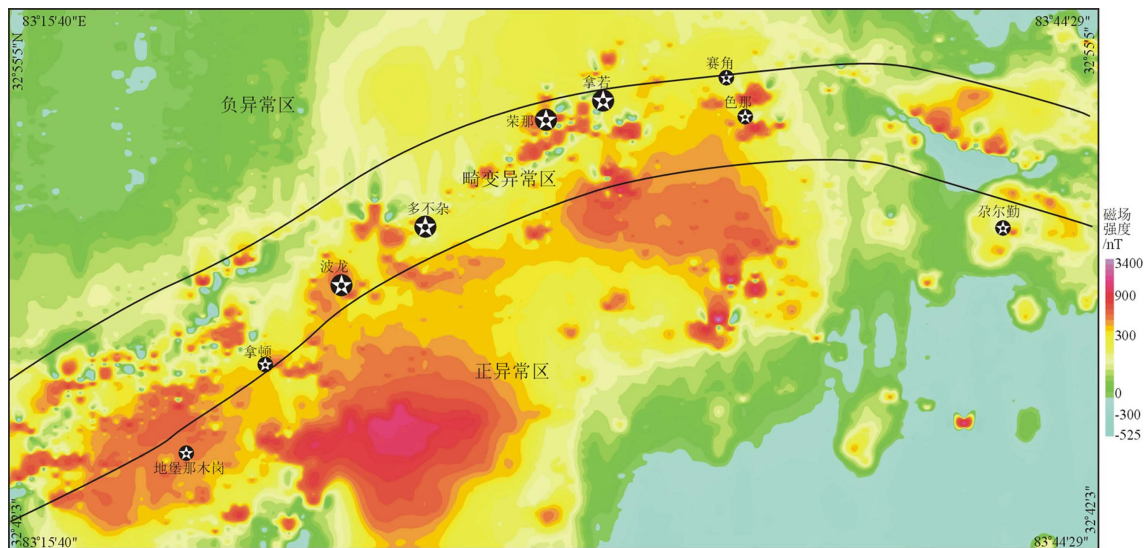


图5 多龙矿区1:50000 ΔT 强磁性体异常等值线平面图(据①修改)

★—铜矿床(点)

Fig.5 Anomaly contour map of high magnetite rock bodies in Duolong area (modified after ①)

★—Copper deposit (ore spot)

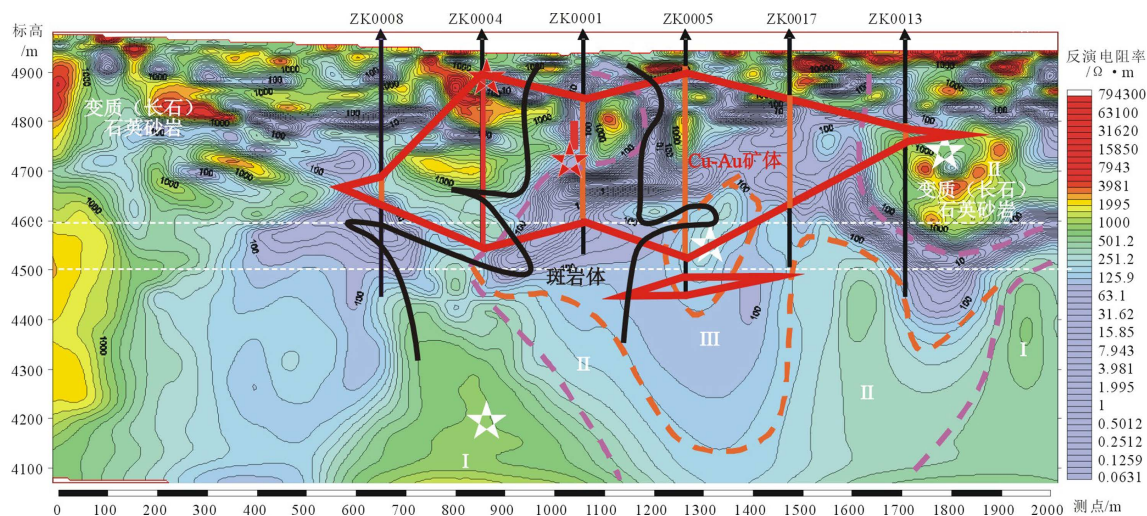


图6 拿若矿区00线音频大地电磁法(AMT)反演900 m及解释推断剖面图(据②修改)

红色五角星—含金铜矿体,白色五角星—推测含金铜矿体;红色实线—铜矿体;黑色曲线—斑岩体界限;
黑色箭头线—钻孔,红色钻孔线—见矿部位; I—第一电性层; II—第二电性层; III—第三电性层

Fig.6 Audio-frequency magnetotellurics along section 00 with 900 m deep inversion in the Naruo deposit (modified after ②)

Red five-pointed star—Gold ore body, white five-pointed star—Inferred gold ore body; solid red line—Copper ore body; black curve—Porphyry boundary; black arrow line—Drill hole; red drilling line—Copper ore spot; I—1st electrical layer; II—2nd electrical layer; III—3rd electrical layer

①陈红旗,母兴民,靳宝福,等.西藏多龙1:50000物探报告[R].格尔木:西藏地勘局地质五队,2008.

②陈红旗,李彦波,李玉彬,等.西藏多龙地区拿若铜矿调查评价激电测深工作报告[R].格尔木:西藏地勘局地质五队,2012.

和磁异常带: I带以拿若—色那—尕尔勤的低磁异常区,该带提取出8处铜金异常(1、2、3、4、10、11、12、14号异常); II带以波龙—多不杂—铁格隆南的中—高磁异常区,该带提取出7处铜金异常(分别为5、6、7、8、9、12号异常); III带以地堡那木岗为主的高磁异常区,该带提取出1处弱铜金异常(13号异常)(图7)。进一步进行异常套合,有如下特征:(1)1、3、5、14号弱磁异常明显为目前找矿重点靶区;(2)2、4、12号磁异常不明显可暂时排除在工作范围外;(3)6、7、8、9、10、11、13号异常区为找矿远景区(图7)。

6.2 斑岩铜矿“四位一体”找矿模式

6.2.1 模式内涵

斑岩铜矿“四位一体”找矿模式是我们在研究全球斑岩铜矿成矿地质条件、控矿因素和找矿标志的基础上,总结西藏多龙地区斑岩铜矿找矿实践提出的。“四位一体”孔雀石化/铁帽、地化Cu-Au-Mo异常、激电异常、低磁异常均与斑岩体对应,该模式强调控矿条件(与斑岩体紧密相关)、硫化物的局部富集(激电异常)并排除黄铁矿干扰(铁帽)。小比例尺地化Cu、Au、Mo异常是圈定找矿靶区的前提,同时大比例尺激发极化法是反映硫化物富集区的

基础,也是地表揭露寻找孔雀石化的重要标志,为缩小靶区、验证异常提供了保证。以该模式为指导,通过地面激电异常检查,在多不杂、波龙、拿若、色那地区通过槽探、钻探揭露发现明显的孔雀石化带进而导致该区找矿突破。

6.2.2 模式外延

当斑岩体、矿体为侏罗系、第四系等中、新生界覆盖或岩体剥蚀程度低、隐伏于地层中时,在地表难以观察到控矿的铁帽、斑岩体、孔雀石化,“四位一体”中的斑岩体转化为“低磁异常和高极化(花岗斑岩、破碎含矿闪长玢岩、含矿闪长玢岩)”,铁帽、孔雀石化转化为沿构造分布的化探异常。在该条件下化探、物探(激电、磁法)将是隐伏斑岩铜矿最重要的探测手段。

(1)地化异常特征

根据异常规模及浓度分带特征,选择异常清晰、分布面积大、三级浓集分带完整的异常区,圈定区内主成矿元素主要为Au、Cu、Mo,伴生元素Pb、Ag、Zn等元素。矿化剂元素为Sb、As等元素。

(2)岩矿石物性特征

从大量电性和磁性测定结果分析可见:电性

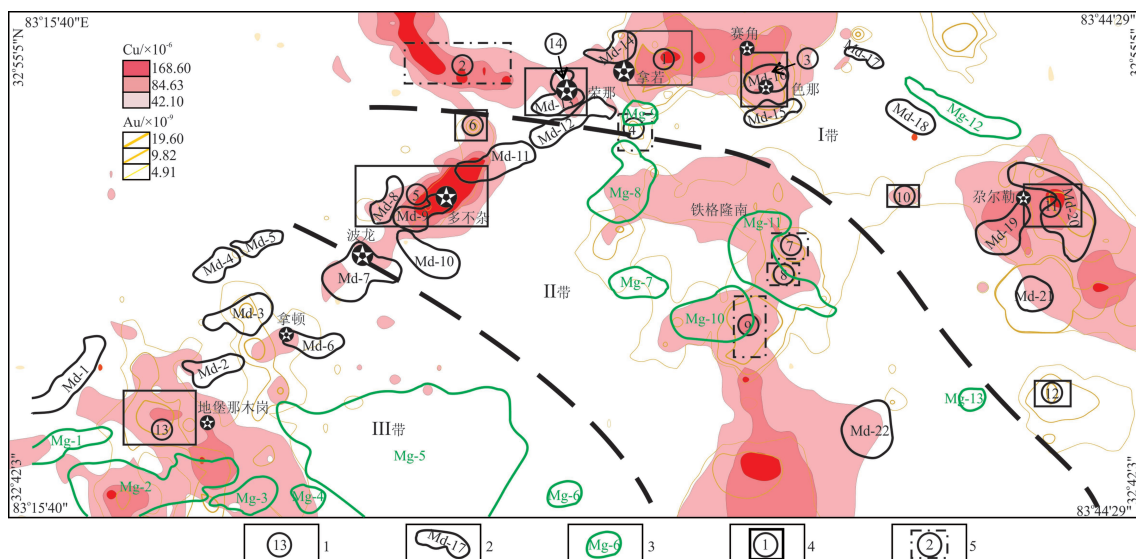


图7 多龙地区Cu-Au地球化学异常和磁异常套合图(据①修改)

1—地球化学异常区;2—低磁异常区;3—高磁异常区;4—实线方框为找矿重点靶区;5—虚线方框为综合异常不明显区域

Fig.7 Geochemical Cu-Au anomalies and magnetic anomalies in Duolong area (modified after ①)

1—Geochemical anomaly area; 2—Low magnetic anomaly area; 3—High magnetic anomaly area; 4—Solid boxes for exploration targets; 5—Dashed boxes for ambiguous anomaly zones

①潘凤雏, 樊俊青, 任利民, 等. 西藏多龙1:50000水文报告[R]. 拉萨: 西藏地质调查院, 2008.

上,正常地层和岩体总体具有相对高阻($\rho_s \geq 300 \Omega \cdot m$)、低极化($\eta_s \leq 1.5\%$)特征;围岩石英砂岩、角岩、闪长玢岩具低阻($\rho_s: 100 \sim 300 \Omega \cdot m$)、高极化特征($\eta_s: 9\% \sim 14\%$);而含矿花岗闪长斑岩具相对低阻($\rho_s: 100 \sim 200 \Omega \cdot m$)、相对中高极化特征($\eta_s = 2.7\%$)。电性尤其激发极化特性对含矿地质体反映最佳。

6.2.3 模式总结

根据上述岩矿石物性特征分析和全区地质矿产评价和综合物探(地化、激电、磁法)工作实践,从“四位一体”找矿模式出发,初步可以建立隐伏斑岩铜矿的综合找矿模型。

(1)当矿体出露地表时,地表铁帽、斑岩体、孔雀石化、地化Cu(-Au)异常和明显的激电异常四位一体。

(2)当矿体浅隐伏时,地表岩体出露但无矿体出露,地化Cu(-Au)异常是快速圈定靶区的先决条件,激电异常是重要的找矿标志。地表无岩体和矿体、矿化体出露,地化Cu(-Au)异常,无+弱磁异常、中高极化异常组合成斑岩铜矿的找矿标志。

(3)经全面系统地研究了多不杂、波龙、拿若等矿床找矿规律性后,建立了“四位一体”的找矿模式,即①地表铁帽、孔雀石化、斑岩体为寻找斑岩铜矿的直接标志;②低磁异常间接反映成矿母岩——花岗闪长斑岩体;③高极化体直接反映斑岩型铜矿体两翼的黄铁矿化带,而中高极化体间接反映出黄铁矿化带内包裹着铜矿体;④Cu、Au地化异常高主要反映成矿元素的区域富集。斑岩体对应分布高、低阻之间的接触带,也对应分布高、低磁性体之间的接触带,斑岩型铜矿床的出现与火山岩地层密切相关。以此为基础,对拿若矿区掩埋矿体运用了“四位一体”找矿模式,发现隐伏斑岩型铜矿床。

7 结 论

藏北多龙矿集区产出环境和成矿动力学背景在青藏高原斑岩铜矿中独具特色,本文聚焦该区综合异常与成矿预测,取得以下认识:

(1)铜金矿体产于花岗闪长斑岩体内及岩体边部的黄铁绢英岩化青磐岩化变质(长石)石英砂岩中。自含矿斑岩体中心向外存在3个中心对称分布的蚀变带,依次为钾化带、绢英岩化带和黄铁矿化-

角岩化带。

(2)根据地、物、化、遥异常套合特征,厘定出“三带五田”。“三带”为呈北西向雁列状排列的拿若—色那—尕尔勤铜金矿带、多不杂—波龙—铁格隆南铜金矿带和地堡那木岗铜金矿带;“五田”为拿若—赛角—荣那矿田、尕尔勤矿田、地堡那木岗矿田、波龙—多不杂矿田和铁格隆南矿田,并分别厘定了各矿田的基本组成与矿床地质特征。

(3)通过地、物、化综合异常分析,建立了“四位一体”找矿模式。指出铁帽、孔雀石化和蚀变花岗闪长斑岩体为地表寻找斑岩铜矿的直接标志;低磁异常间接反映花岗闪长斑岩体成矿母岩;激电高极化异常直接反映斑岩型铜矿体两翼的黄铁矿化带,而中高极化异常间接反映黄铁矿化物带包裹着铜矿体;Cu、Au元素高异常反映成矿元素的区域富集。以此为基础,对拿若矿区隐伏矿体运用了“四位一体”找矿模式,发现隐伏斑岩型铜矿床。

参考文献(References):

- [1] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28(1): 211-280.
- [2] Kapp P, Murphy M A, Yin A, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet [J]. *Tectonics*, 2003, 22(4): 313-323.
- [3] 秦克章, 李光明, 张旗, 等. 西藏浅成低温金-银矿的成矿条件与可能产出区分析——从斑岩-浅成低温铜金成矿系统的角度[C]//陈毓川, 毛景文, 薛春纪主编. 第八届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 2006: 666-670.
Qin Kezhang, Li Guangming, Zhang Qi, et al. Metallgenetic factors of epithermal Au-Ag deposits in Tibet and its bearing area — In perspective of metallgenetic system of epithermal Cu-Au deposits[C]// Chen Yuchuan, Mao Jingwen, Xue Chunji (eds.). *Proceedings of the 8th National Deposit Conference*. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 666-670(in Chinese).
- [4] 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 等. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 2006, 26(4): 25-32.
Cao Shenghua, Deng Shiquan, Xiao Zhijian, et al. The archipelagic arc tectonic evolution of the Meso-Tethys in the western part of the Bangong Lake-Nujiang suture zone[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2006, 26(4): 25-32(in Chinese with English abstract).
- [5] Geng Q R, Sun Z M, Pan G T, et al. Origin of the Gangdise (Transhimalaya) Permian arc in southern Tibet: Stratigraphic and volcanic geochemical constraints [J]. *Island Arc*, 2009, 18(3): 467-

- 481.
- [6] 莫宣学. 青藏高原地质研究的回顾与展望[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 841-853.
Mo Xuanxue. A review and prospect of geological researches on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 841-853(in Chinese with English abstract).
- [7] 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 班公湖—怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1261-1274.
Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liquan, et al. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(8): 1261-1274(in Chinese with English abstract).
- [8] 耿全如, 彭智敏, 张璋, 等. 班公湖—怒江成矿带及邻区特提斯演化与成矿地质背景[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 46-125.
Geng Quanru, Peng Zhimin, Zhang Zhang, et al. Tethyan Evolution and Metallogenic Geological Background of the Bangong Co-Nujiang Belt and the Qiangtang Massif in Tibet[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012: 46-125(in Chinese).
- [9] 吴珍汉, 叶培盛, 杨艳. 西藏阿里推覆构造与蛇绿岩构造侵位[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 182-190.
Wu Zhenhan, Yepesheng, Yang Yan. The Ngari thrust system and tectonic emplacement of ophiolites in western Tibet[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 182-190(in Chinese with English abstract).
- [10] Richards J P, Boyce A J, Pringle M S. Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal location of porphyry Cu mineralization[J]. *Economic Geology*, 2001, 96(2): 271-305.
- [11] Cooke D, Hollings P, Walsh J L. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. *Economic Geology*, 2005, 100(5): 801-818.
- [12] Laznicka P. Giant Metallic Deposits, Future Sources of Industrial Metals[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2006: 81-152.
- [13] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper gold and epithermal gold deposits in the circum Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1997, 44: 373-388.
- [14] Sillitoe R H. Porphyry copper systems [J]. *Economic Geology*, 2010, 105(1): 3-41.
- [15] 翟裕生. 地球系统、成矿系统到勘查系统[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 172-178.
Zhai Yusheng. Earth system, metallogenic system to exploration system[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(1): 172-178(in Chinese with English abstract).
- [16] 邓军, 杨立强, 王长明. 三江特提斯复合造山与成矿作用研究进展[J]. 岩石学报, 2011, 27(9): 2501-2509.
Deng Jun, Yang Liqiang, Wang Changming. Research advances of superimposed orogenesis and metallogenesis in the Sanjiang Tethys[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(9): 2501-2509(in Chinese with English abstract).
- [17] 赵文津, 刘葵, 蒋忠惕, 等. 西藏班公湖—怒江缝合带深部地球物理结构给出的启示[J]. 地质通报, 2004, 23(7): 623-635.
Zhao Wenjin, Liu Kui, Jiang Zhongti, et al. Bangong Co-Nujiang suture zone, Tibet—A suggestion given by deep geophysical structure[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(7): 623-635 (in Chinese with English abstract).
- [18] 张洪瑞, 侯增谦, 宋玉财, 等. 斑岩铜矿床在东特提斯成矿域中的时空分布特征[J]. 地质学报, 2009, 83(2): 1818-1837.
Zhang Hongrui, Hou Zengqian, Song Yucai, et al. The temporal and spatial distribution of porphyry copper deposits in the eastern Tethyan metallogenic domain: A review[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(2): 1818-1837 (in Chinese with English abstract).
- [19] 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿床成因讨论——来自元素的空间分布特征的证据[J]. 地质论评, 2010, 56(3): 384-402.
Lang Xinghai, Chen Yuchuan, Tang Juxing, et al. A discussion on genesis of Xiongcu porphyry copper-gold deposit, Xietongmen, Tibet—Evidences from elements spatial distribution characteristics[J]. *Geological Review*, 2010, 56(3): 384-402 (in Chinese with English abstract).
- [20] 曲晓明, 辛洪波. 藏西班牙班公湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境[J]. 地质通报, 2006, 25(4): 792-799.
Qu Xiaoming, Xin Hongbo. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(4): 792-799 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李光明, 李金祥, 秦克章, 等. 西藏班公湖带多不杂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 Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 935-952 (in Chinese with English abstract).
- [22] 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 settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(3): 531-543 (in Chinese with English abstract).
- [23] 辛洪波, 曲晓明, 王瑞江, 等. 藏西班牙班公湖斑岩铜矿带成矿斑岩地球化学及 Pb、Sr、Nd 同位素特征[J]. 矿床地质, 2009, 28(6): 785-792.
Xin Hongbo, Qu Xiaoming, Wang Ruijiang, et al. Geochemistry

- and Pb, Sr, Nd isotopic features of ore-bearing porphyries in Bangong Lake porphyry copper belt, western Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(6): 785–792(in Chinese with English abstract).
- [24] 余宏全, 李进文, 马东方, 等. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义[J]. *矿床地质*, 2009, 28(6): 737–746 (in Chinese with English abstract).
She Hongquan, Li Jinwen, Ma Dongfang, et al. Molybdenite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(6): 737–746(in Chinese with English abstract).
- [25] Li Jinxiang, Qin Kezhang, Li Guangming, et al. Magmatic-hydrothermal evolution of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco metallogenic belt, Tibet: evidence from U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(6): 525–536.
- [26] Li Guangming, Li Jinxing, Qin Kezhang, et al. Geology and hydrothermal alteration of the Duobuza gold-rich porphyry copper district in the Bangongco metallogenetic belt, northwestern Tibet[J]. *Resource Geology*, 2012, 62(1): 99–118
- [27] Li Jinxiang, Li Guangming, Qin Kezhang, et al. Mineralogy and mineral chemistry of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco arc, northern Tibet[J]. *Resource Geology*, 2012, 62(1): 19–41.
- [28] 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.
Li Yubing, Duo Ji, Zhong Wanting, et al. An exploration model of the Duobuza porphyry Cu-Au deposit in Gaize country, Northern Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48(2): 274–287(in Chinese with English abstract).
- [29] 陈玉禄, 张宽忠, 李关清, 等. 班公湖—怒江结合带中段上三叠统确哈拉群与下伏岩系角度不整合关系的发现及意义[J]. *地质通报*, 2005, 24(7): 621–624.
Chen Yulu, Zhang Kuanzhong, Li Guanqing, et al. Discovery of an uniformity between the Upper Triassic Quehala Group and its underlying rock series in the central segment of the Bangong Co-Nujiang junction zone, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(7): 621–624(in Chinese with English abstract).
- [30] 余宏全, 李进文, 丰成友, 等. 西藏多不杂斑岩铜矿床高温高盐度流体包裹体及其成因意义[J]. *地质学报*, 2006, 80(9): 1435–1447.
She Hongquan, Li Jinwen, Feng Chengyou, et al. The high-temperature and hypersaline fluid inclusions and its implications to the metallogenesis in Duobuza porphyry copper deposit, Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(9): 1435–1447(in Chinese with English abstract).
- [31] 吴德新, 赵元艺, 刘朝强, 等. 西藏多不杂矿集区斑岩铜矿地球化学指标研究[J]. *地球学报*, 2012, 33(2): 185–196.
Wu Dexin, Zhao Yuanyi, Liu Chaoqiang, et al. Geochemical indicators of porphyry copper deposits in the Dobzha ore concentration area, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(2): 185–196(in Chinese with English abstract).
- [32] Shi R D, Yang J S, Xu Z Q, et al. The Bangong Lake ophiolite (NW Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong-Nujiang suture zone [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(5/6): 438–457.
- [33] 祝向平, 陈华安, 马东方, 等. 西藏波龙斑岩铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27(7): 2159–2164.
Zhu Xiangping, Chen Huaan, Ma Dongfang, et al. Re-Os dating for the molybdenite from Bolong porphyry copper-gold deposit in Tibet, China and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(7): 2159–2164(in Chinese with English abstract).
- [34] 代晶晶, 曲晓明, 辛洪波. 基于 ASTER 遥感数据的西藏多龙矿集区示矿信息的提取[J]. *地质通报*, 2010, 29(5): 752–757.
Dai Jingjing, Qu Xiaoming, Xin Hongbo. Extraction of alteration mineral information using ASTER remote sensing data in Duolong area, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(5): 752–757(in Chinese with English abstract).

Integrated anomaly model and metallogenic prediction of the Duolong porphyry copper-gold ore concentration area in northern Tibet

JIANG Shao-qing^{1,2}, SUN Xing-guo³, YANG Tie-zheng¹, LI Li¹,
YIN Xian-bo³, WANG Ce¹, PAN Yan-bing¹

(1. *Chinalco Resources Corporation, Beijing 100082, China*; 2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*;
3. *Chinalco Tibet Mining Company, Lhasa 814000, Tibet, China*)

Abstract: Located in the northern margin of the Tibetan Plateau, the Duolong Cu-Au ore concentration area has typical geological setting and metallogenic dynamic background, which is quite unique in porphyry copper deposits of Tibet. The effective geological exploration model for Duolong is of great significance. This paper focused on metallogenic system and exploration model in this area. Several important results were obtained through detailed field and laboratory studies: ① Copper and gold ore bodies are preserved in altered (feldspathic) quartz sandstone and volcanic rocks of Jurassic Quse Formation and Sewa Formation. Three alteration zones exist from the center of ore-bearing porphyry outwards, i.e., potassium-silicified and sericitized zone, sericitized zone, and pyritized-hornfelsic zone. ② The spacial layout of mineralization in this area finds expression in "three ore belts and five ore fields". The three belts are distributed in an echelon shape, i.e., Naruo-Sena-Gaerqin Cu-Au belt, Duobuza-Bolong-Tiegelongnan Cu-Au-Mo belt, and Dibaonamugang Cu-Au belt, whereas the five blocks are ore zones located in the three belts, i.e., Naruo-Saijiao-Rongna, Gaerqin, Dibaonamugang, Duolong-Duobuza and Tiegelongnan ore fields. ③ The model of "four effective approaches to exploration" has been summarized: (1) Iron caps, malachites and porphyry intrusions are direct indicators for porphyry copper deposits; (2) Low magnetic anomalies reflect the granodiorite porphyry ore rock indirectly; (3) High-polarization areas directly reflect sulfide zones surrounding both sides of the ore body, and indirectly reflect the copper ore body wrapped in the pyrite zone; (4) Copper and gold geochemical anomalies indicate regional enrichment of ore-forming elements. The application of this model to Naruo and Rongna areas led to the effective discovery of the deep-buried porphyry copper deposit. The exploration breakthrough in the Duolong area has been achieved on the basis of this exploration model.

Key words: alteration zonation; geochemical anomaly; geophysical anomaly; porphyry copper deposit; exploration model; Duolong, Tibet

About the first author: JIANG Shao-qing, male, born in 1983, doctor, mainly engages in the study of mineral exploration and exploitation; E-mail: jiangshaoqing83@163.com.