

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).

# 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

方向<sup>1</sup> 唐菊兴<sup>2</sup> 李彦波<sup>3</sup> 王勤<sup>1</sup> 丁帅<sup>1</sup> 张志<sup>1</sup> 杨超<sup>2</sup>  
李玉彬<sup>1,3</sup> 陈红旗<sup>3</sup> 卫鲁杰<sup>3</sup> 尼玛<sup>3</sup>

(1.成都理工大学,四川成都610059;2.中国地质科学院矿产资源研究所,北京100037;  
3.西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队,青海格尔木816000)

**摘要:**拿若铜(金)矿床是多龙矿集区内继多不杂斑岩铜(金)矿、波龙斑岩铜(金)矿之后又一取得重大找矿突破的大型斑岩型矿床。作者以矿区探矿工程分析数据为基础,研究各成矿元素空间分布规律。成矿元素在垂向上的分带特征不明显,在平面上分带特征较显著,表现为自矿区中心ZK0001,向南西方向具有Cu+Au→Cu(Au,Ag)→Cu(Ag,Au)→Cu(Ag)的分带特征。同时,矿区土壤地球化学测量显示,从0线开始至31线(北东→南西)具有Mo、Cu→Mo(Cu,Au)→Cu,Au(Ag,Mo,Pb)→Pb→Pb,Zn分带特征,显示物质来源和热源位于0线附近,成矿流体是以0线、7线一带向四周运移,并具有从北东向南西方向运移的特点。通过矿床地质特征、元素分带特征研究,建立了矿区地球化学勘查模型。

**关键词:**多龙矿集区;拿若斑岩铜(金)矿床;分带特征;地球化学勘查模型;找矿预测;西藏  
**中图分类号:**P618.41;P618.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)03-0936-15

拿若铜(金)矿床是西藏改则县多龙矿集区新发现的斑岩型铜(金)矿床(图1)。多龙铜(金)矿集区是班公湖—怒江成矿带勘探程度相对较高的地区之一,已经控制的铜、金资源量已达超大型规模,是中国重要的矿产资源战略储备基地。拿若铜(金)矿床是多龙矿集区继多不杂斑岩铜(金)矿、波龙斑岩铜(金)矿以及西藏首例浅成低温热液矿床——铁格隆南铜(金、银)矿床<sup>[1]</sup>的发现之后,取得的又一重大找矿成果。据最新资料显示,拿若铜矿床估算332+333资源量铜大于200万t,伴生金大于80t,伴生银大于700t。拿若铜(金)矿床以具有完整的

蚀变分带,并伴随有典型的规模巨大的矿化隐爆角砾岩筒为特征,这是多龙矿集区其他铜金矿所不具有的特点。本文通过对拿若铜(金)矿床元素空间分布规律研究,力图建立勘查地球化学模型,为区域找矿提供指导。

## 1 地质背景

拿若铜(金)矿床位于改则县NW约120 km,距多不杂铜(金)矿床NE约8 km。大地构造位置处于羌塘—三江复合板片南缘,班公湖—怒江缝合带北侧(图1)。由于大地构造的特殊性和良好的地质成

收稿日期:2014-03-23;改回日期:2014-04-18

基金项目:国家973项目(2011CB403103)、青藏专项(1212010818089)及中铝资源资助项目(ZLXZ-2013-JS03)共同资助。

作者简介:方向,1990年生,男,硕士生,现从事矿床地球化学研究工作;E-mail:francisfx@126.com。

通讯作者:李彦波,1979年生,男,工程师,从事固体矿产勘查与评价研究;E-mail:13909793689@163.com。

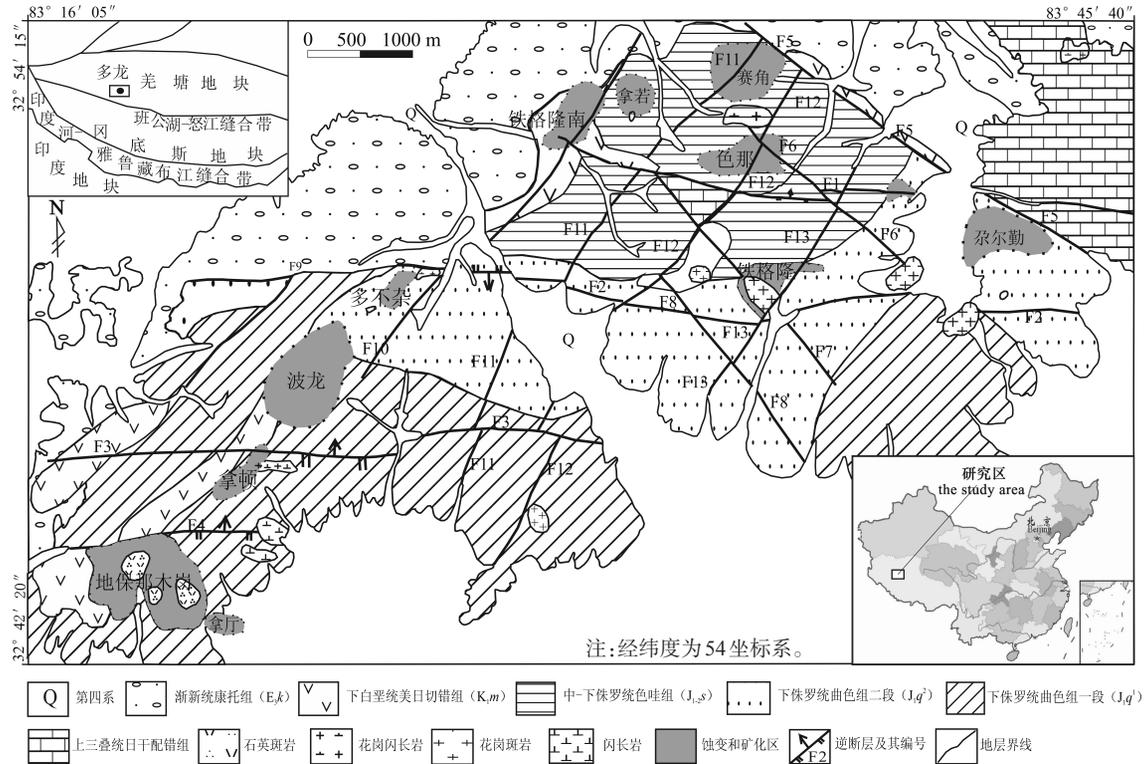


图1 多龙矿集区地质图(据资料①改绘)

Fig.1 Geological map of the Duolong ore-concentration area (modified after Reference ①)

矿背景,该缝合带历来备受地质学家的关注<sup>[2-4]</sup>。已有研究表明,班公湖—怒江缝合带形成于晚二叠世—早三叠世的特提斯洋<sup>[5]</sup>,而关于该缝合带的构造演化过程,目前主要有以下3种不同的观点:(1) Kapp et al.<sup>[6]</sup>以及 Ding et al.<sup>[7]</sup>认为班公湖—怒江洋盆是在三叠纪打开,在早侏罗世扩张形成深海洋盆,晚侏罗世洋壳开始向侧羌塘地块之下俯冲消减,至侏罗纪末—白垩纪初洋盆闭合,此后进入弧—陆碰撞演化的单向俯冲模式。(2)部分学者则认为该俯冲是向南进行<sup>[8-10]</sup>。(3)越来越多的学者通过研究认为该缝合带具有双向俯冲性质,即该缝合带经历了晚三叠世—早侏罗世向北俯冲、中晚侏罗世早期—早白垩世向北、向南双向俯冲,晚白垩世碰撞缝合3个俯冲消亡阶段<sup>[10-15]</sup>。

矿集区内主要出露地层有上三叠统日干配组 T<sub>3r</sub> 灰岩、下侏罗统色哇组 J<sub>1s</sub>、中下侏罗统曲色组 J<sub>1-2q</sub> 砂岩和粉砂岩;下白垩统美日切组 K<sub>1m</sub> 安山岩、安山玢岩以及渐新统康托组 E<sub>3k</sub> 紫红色砂砾岩等。

区内岩浆活动频繁,岩浆活动有侵入、喷发和喷溢等形式,岩石类型主要有玄武岩、辉长岩、安山岩、安山玢岩、石英斑岩、花岗斑岩、花岗闪长岩等。次级断裂构造主要发育有3组:(1)早期近东西向断裂构造 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>; (2)后期北东向断裂 F<sub>8</sub>、F<sub>10</sub>、F<sub>11</sub>、F<sub>12</sub>、F<sub>13</sub>; (3)晚期北西向断裂 F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>、F<sub>7</sub>。几组构造构成似菱形格架(图1)。

## 2 矿区概况

矿区出露地层(图2)主要为中下侏罗统色哇组(J<sub>1-2s</sub>)和第四系。中下侏罗统色哇组可分为深灰色泥质板岩(J<sub>1-2s</sub><sup>2-1</sup>);灰绿色长石石英砂岩、岩屑砂岩(J<sub>1-2s</sub><sup>2-2</sup>);灰白色长石石英砂岩(J<sub>1-2s</sub><sup>2-3</sup>),该套地层是矿体和岩体的围岩。

在矿区南东侧发育一条 NE-SW 走滑断层 F<sub>11</sub><sup>[16]</sup>,为多龙矿集区次级断裂构造<sup>[17]</sup>,是成矿期后构造。

矿区内主要出露的岩浆岩为花岗闪长斑岩

①李玉昌, 李玉彬, 范安辉, 等. 西藏班公湖—怒江成矿带西段铜多金属资源调查阶段性地质报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质调查院, 2009.

( $\gamma\delta\pi$ ),呈岩株、岩瘤等产出。岩体多具有斑状结构,边缘可见不等粒结构,块状构造,基质具显微嵌晶结构、显微文象结构以及隐晶质结构。斑晶主要成分为斜长石、石英、钾长石、角闪石、黑云母;基质主要由钾长石、斜长石、石英、黑云母组成;副矿物主要有磷灰石、锆石、金红石、磁铁矿等。

在矿区SW部ZK2324、ZK3116、ZK3924等6个钻孔,揭露出规模巨大的典型隐爆角砾岩,呈椭圆形展布<sup>[18]</sup>。角砾主要由围岩长石石英砂岩中的石英砂岩、斑岩等组成,从浅部至深部,角砾粒度逐渐变大,棱角一次棱角,边缘平直,基质一角砾支撑。

矿体主要赋存在花岗闪长斑岩体、隐爆角砾岩及蚀变长石石英砂岩中,由08、00、07、15、23、31号勘探线控制,其中在23线和31线附近发育热液隐爆角砾岩筒型铜(金)矿体。矿体大致呈NE-SW走向,长约1000 m,宽约800 m,矿体延伸约400 m。

矿区蚀变形成了以岩体为中心的面型环状蚀变分带:从斑岩体向外围形成钾硅化带—黄铁绢英岩化带—青磐岩化带,以发育完整蚀变分带为特征,青磐岩化带范围最大。钾硅化主要发育在花岗闪长斑岩内,规模不大,在斑岩体深部发育,被黄铁绢英岩化带叠加,矿物组合以钾长石+石英+石膏为主,黑云母较少。该带中金属矿物以磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿为主,少量辉钼矿。黄铁绢英岩化呈环状分布于蚀变长石石英砂岩中,有强烈的青磐岩化叠加,该带中金属矿物以黄铁矿、黄铜矿、热液磁铁矿+赤铁矿为主,少量辉钼矿、铜蓝,偶见方铅矿、闪锌矿。青磐岩化分布在最外围,且范围最广,金属矿物以黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿+镜铁矿+磁铁矿为主,脉石矿物组合为绿泥石+绿帘石+碳酸盐矿物。在该带中发育大量热液赤铁矿和镜铁矿脉,脉体中常见细粒黄铜矿。

### 3 成矿元素分布特征

#### 3.1 剖面分布特征

为了研究矿体剖面上成矿元素分带特征,现选取剖面I—I'作为研究对象(图2、3)。该剖面包括了ZK0001、ZK0708、ZK0809等6个钻孔,并且为了更好地圈出矿体形态,将ZK1609也垂直投影至该剖面。通过统计分析发现,在垂向上,Cu、Au、Ag元素

的分带性不明显,而各元素间却具有一定的相关性:Cu与Au相关系数为0.62,具有较强的相关性,以ZK0001为例,该孔矿体赋于与花岗闪长斑岩中,Cu和Au均在140~190 m孔深段大量富集;Cu与Ag无相关性或弱相关,相关系数为0.25;Au与Ag具有一般相关性,相关系数为0.51。垂直面上以ZK0001为中心,向南西方向钻孔内对应矿化依次为Cu+Au→Cu(Au、Ag)→Cu(Ag、Au)→Cu(Ag)分带,而ZK0809发育Cu(Au、Ag)矿化组合,显示热源可能来自0线附近,由花岗岩脉侵位形成。

#### 3.2 平面分布特征

根据矿区内27个含矿钻孔元素分析数据,绘制成矿元素加权平均品位×Cu(Au)矿体厚度等值线图(图4-a-c)。矿区主要发育Cu、Au、Ag矿化,有明显的浓集中心。如图6所示,Cu矿体总体呈NE-SW向展布,富集中心位于0线、7线、8线之间。ZK0701孔Cu矿体厚度最大,为647.26 m,Cu加权平均品位0.41%。ZK0801孔Cu加权平均品位×矿体厚度的值最大,其加权平均品位为0.5%,见矿总厚度约600 m。ZK0001开孔位置就为花岗闪长斑岩(图2),Cu加权平均品位0.55%,矿体厚度为292.74 m,钻孔未穿透矿体。Au矿化平面分布情况于铜矿类似,呈NE-SW展布。Au富集以ZK0001为中心,平面圆形分布在0、8线之间。见矿钻孔中,ZK0001中Au加权平均品位最高,为0.33 g/t,矿化厚度292.74 m。ZK0801金矿化厚度最大,为599.76 m,Au加权平均品位0.24 g/t。Ag矿化平面分布总体与Cu、Au相似,呈NE-SW走向长条形展布,富集中心在ZK0701与ZK0708之间,呈椭圆形分布。ZK2308中Ag加权平均品位最高,为11 g/t,银矿化厚度58 m。

从图4可知,矿体为NE-SW向。0线为Cu、Au富集中心,7线为Ag富集中心,即成矿岩体的热源和流体源应该在0、8线之间,以0线地表出露的花岗闪长斑岩为中心,流体向四周运移,并具主要由ZK0001向SW运移的特点,这样的流体运移特点有别于传统斑岩铜矿的对称式蚀变和矿化特点<sup>[19-22]</sup>,显示从0线—39线存在流体通道,这样的流体通道可能是构造破碎带或断裂。在ZK3924附近,出现了矿化富集现象,暗示了SW方向可能还有一个流体源或岩浆源,导致了39线、31线和23线的隐爆角

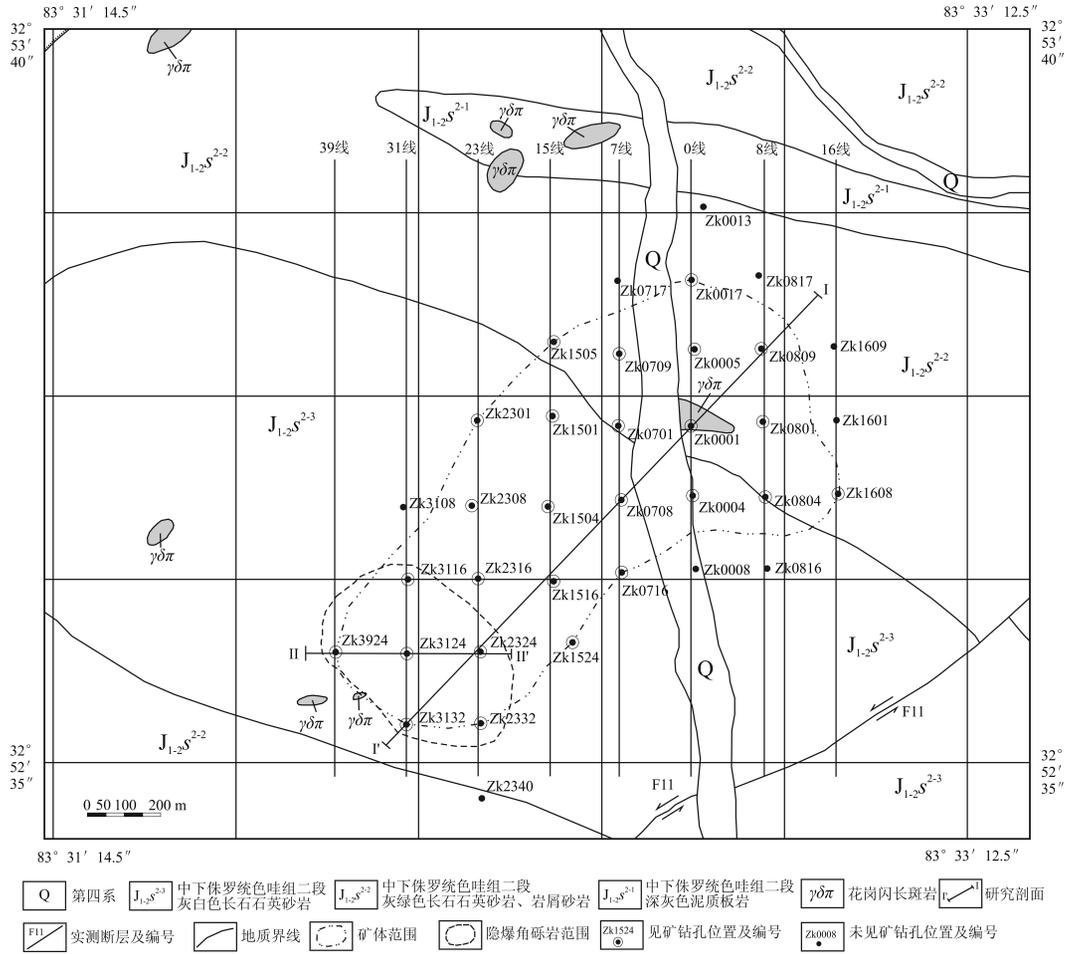


图2 拿若矿区地质图  
Fig.2 Geological map of the Naruo deposit

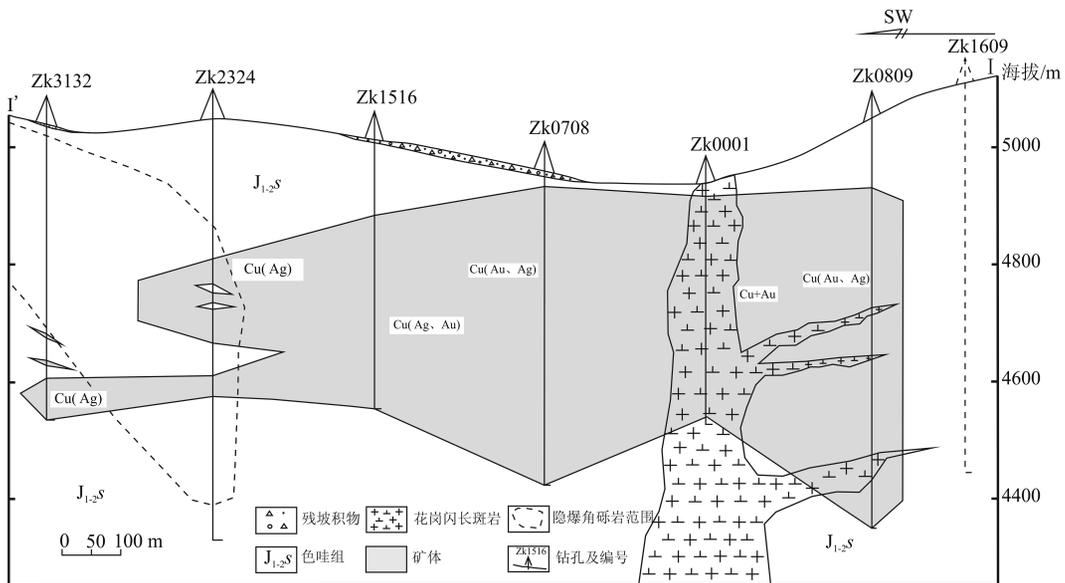


图3 拿若铜(金)矿区I—I'剖面  
Fig.3 The I—I' vertical section of the Naruo copper (gold) deposit

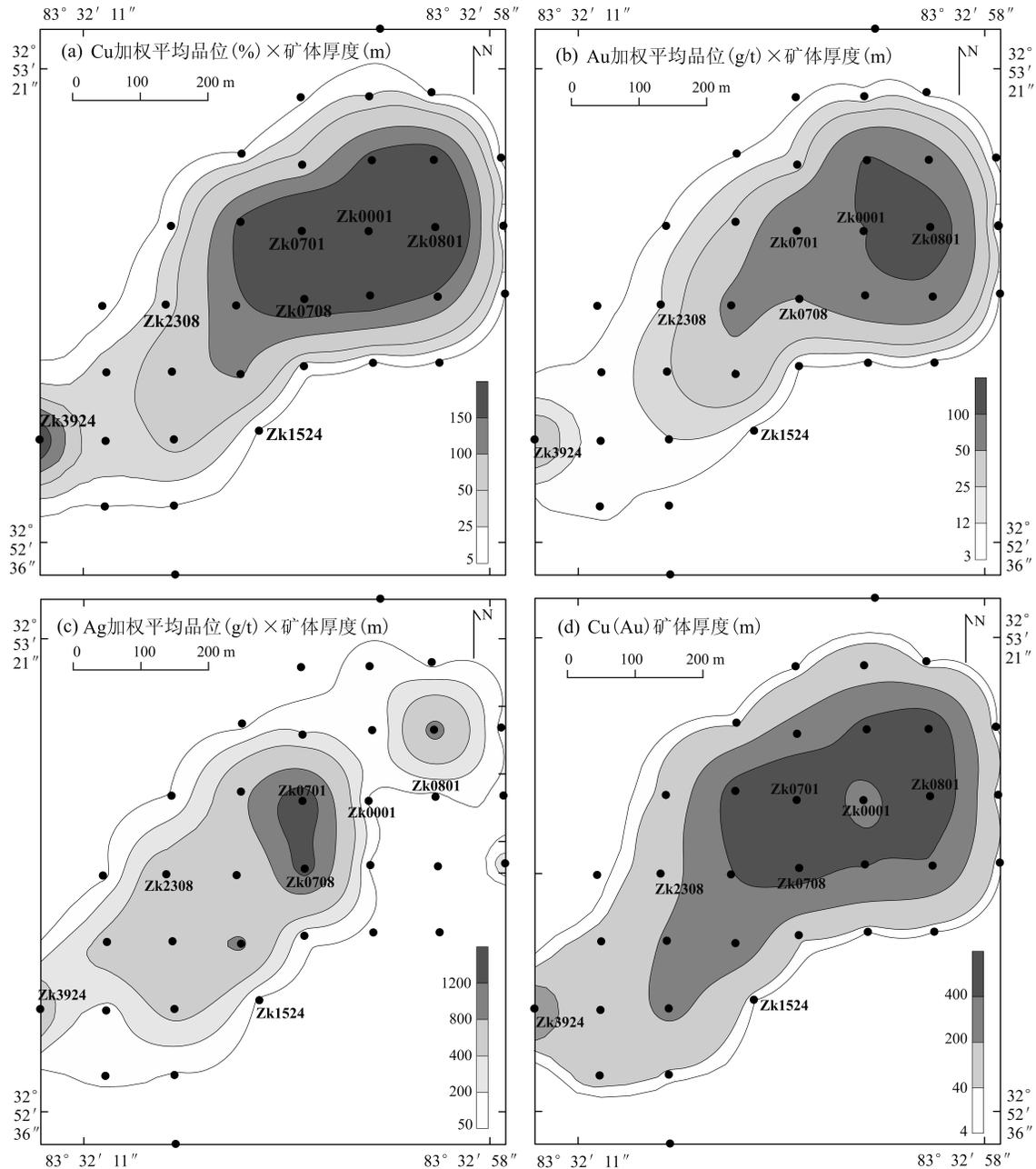


图4 拿若铜(金)矿区成矿元素加权平均品位×Cu(Au)矿体厚度分布等值线及Cu(Au)矿体厚度等值线图  
 Fig.4 Distribution contours of ore-forming elements weighted average grade × Cu (Au) ore body thickness and the thickness of the Cu (Au) ore body in the Naruo copper (gold) deposit

砾岩的形成<sup>[18]</sup>。但该隐爆角砾岩是否与ZK0001附近的含矿岩浆的侵位或与ZK3924南西侧出露的花岗闪长斑岩有关,有待进一步的研究。

### 3.3 品位台阶断面研究

笔者参考了国内外各典型斑岩铜矿床元素分带特征并结合拿若铜(金)矿床的实际情况,选取五个不同海拔(地表、4800 m、4700 m、4600 m、4500

m)成矿元素的品位台阶断面分带进行统计研究(图5):成矿元素Cu、Au、Ag在各海拔段均围绕ZK0001富集,相比Cu、Au高品位环带较近,Ag高品位环带较远,且所有矿床元素较高品位矿体呈SW向条带状富集,暗示着该方向的构造破碎带或裂隙从矿床深部已发育。从地表(0 m)往下至4700~4800 m海拔附近,Au富集达最强;同时该段SW侧出现较高

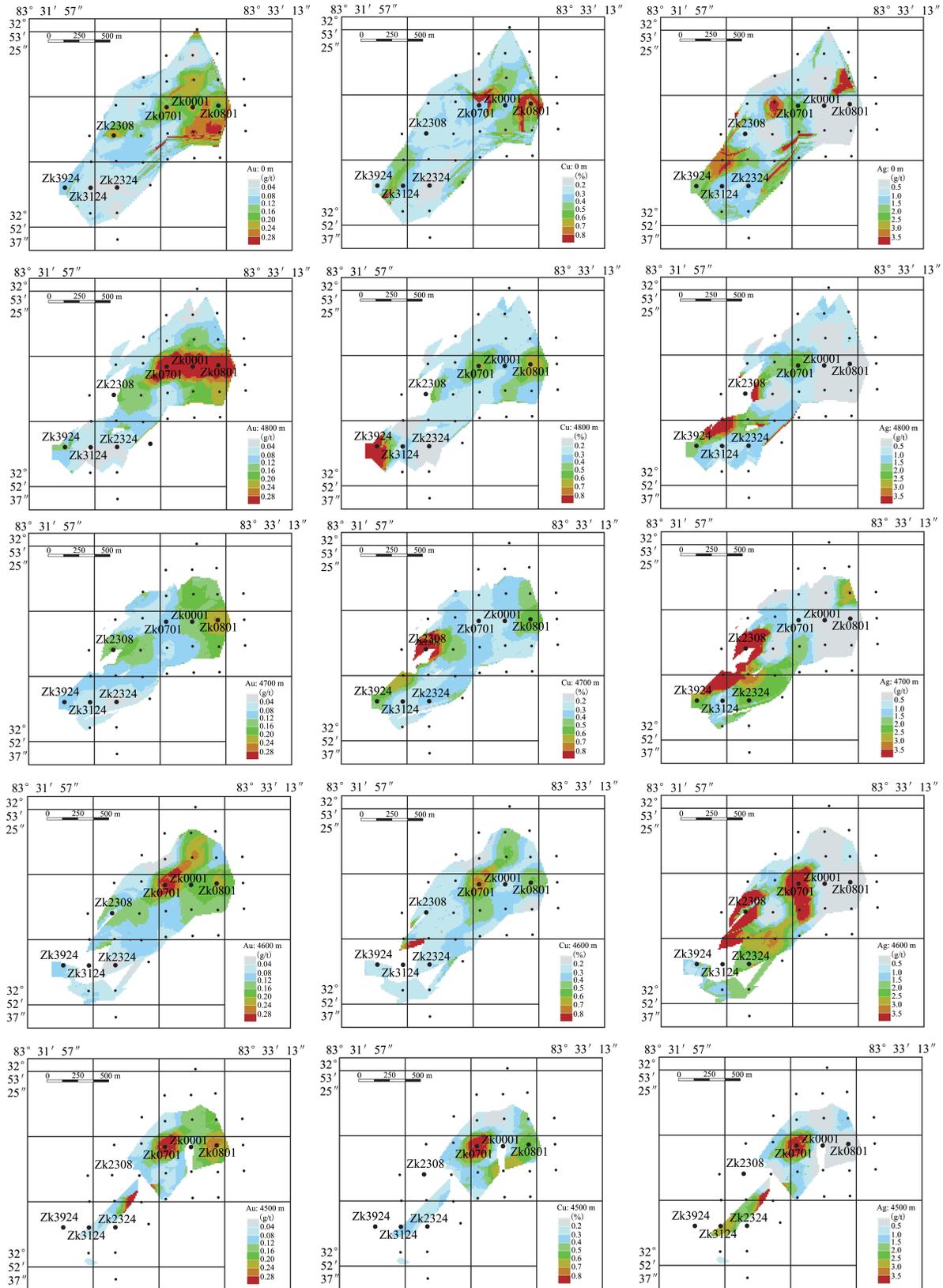


图5 成矿元素品位台阶断面图

Fig.5 Sectional contour maps of different elevations for the grades of ore-forming elements

品位的Cu、Ag矿化,可能是由于该段内隐爆角砾岩发育较强且叠加矿化致使。愈往矿床深部,成矿元素的浓集中心愈靠向ZK0701,在4500 m海拔台阶断面附近,SW侧的矿体规模减小,品位降低(隐爆角砾岩产出位置较浅,其叠加矿化亦主要在浅部),但在ZK0701附近,矿体中成矿元素品位均较高,暗示着矿区中心的深部还有继续找矿的潜力。

### 3.4 土壤地球化学特征

元素可通过风化过程中物理和化学释放、地下水循环、离子扩散作用以及氧化-还原电位等7种方式运移到地表<sup>[23]</sup>,而其在地表覆盖物中形成的叠加地球化学异常是发现隐伏大型、超大型矿床的关键。

1:1万土壤地球化学测量面积约16 km<sup>2</sup>,选取指示元素Cu、Au、Ag、Mo、Pb、Bi、Zn、Sn、Sb、W,如表1所示。统计结果显示,亲铜成矿元素Cu、Au、Ag、Pb、Zn的标准偏差、变异系数均较大,表明土壤中的亲铜成矿元素的富集强度和富集能力比较高<sup>[24]</sup>。根据各元素的变化系数确定主要成矿元素的富集能力,从大到小排列的顺序依次为: Au>Pb>Ag>Cu>Zn。亲氧元素Bi、Mo、Sn富集能力相对较弱。

异常浓集中心的 $\omega(\text{Cu})$ 最高值为 $7260 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Au})$ 最高值为 $1320 \times 10^{-9}$ , $\omega(\text{Ag})$ 最高值为 $32.5 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Mo})$ 最高值为 $57.3 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Pb})$ 最高值为 $1356 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Bi})$ 最高值为 $145 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Zn})$ 最高值为 $3440 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Sn})$ 最高值为 $215 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{Sb})$ 最高

值为 $68.3 \times 10^{-6}$ , $\omega(\text{W})$ 最高值为 $730 \times 10^{-6}$ 。

根据测区内土壤地球化学情况,绘制成矿指示元素分布等值线图(图6)。在矿体平面范围内,Cu元素高异常中心在0线、7线、8线之间,呈NE-SW展布,在矿区的SW也出现较高的异常,高异常中心很好地对应矿体矿化中心,二者有较好的叠合。Au元素高异常区域分布于0线、7线、8线之间,与之对应的矿体矿化也较好,在SW侧Au有较弱的正异常出现,其对应的矿化也相对较弱,与矿体有一定套合。Mo高异常分布于矿体中心,0线与7线之间,总体异常和矿体延伸方向一致,呈NE-SW向,在矿化较弱的31线附近无异常,但在39线斑岩体附近又重新出现,对应了39线的Cu、Au矿化,因此在39线之SW有进一步的找矿潜力。Pb元素在矿体范围内总体分布也呈NE-SW向,在0线与8线附近出现了高异常,且S-N向衍生,而在矿体南端15线、31线Pb与Zn均有高异常的出现,显示为外围异常。

该元素异常分布特征表明:从0线开始至31线,从NE→SW,具有Mo、Cu→Mo(Cu、Au)→Cu、Au(Ag、Mo、Pb)→Pb→Pb、Zn分带特征,该分带特征正好对应了地球化学异常中从高温元素至中、低温元素的异常分带序列,而此特征也正好与成矿元素平面分布特征相一致,表明在0线附近存在热源、流体源,与地质事实相符合,并为流体NE→SW为主的运移方向提供了更丰富的证据。对于斑岩型铜金矿床而言,这样的元素分带,显示斑岩型矿体已经剥蚀至钾硅化带,Mo、Cu的异常已经具有很好

表1 拿若铜(金)矿区1:10000土壤测量各元素地球化学特征  
Table 1 Geochemical features of various elements in soil survey at the scale of 1:10 000 in the Naruo copper (gold) deposit

地球化学特征	Cu	Au	Ag	Pb	Zn	Sb	Bi	Mo	Sn	W
数值个数	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198
最小值	14.4	0	0.04	10.5	16.1	0.103	0.058	0.31	1.08	0.311
最大值	7260	1320	32.5	1356	3440	68.3	145	57.3	215	730
均值	67.49	8.59	0.27	44.72	136.7	2.37	0.95	2.35	2.75	2.91
标准偏差	140.46	26.76	0.59	134.7	143.3	2.42	2.83	4.10	2.80	2.28
变异系数	2.08	3.12	2.15	3.01	1.05	1.02	2.99	1.74	1.02	0.78
偏斜	25.77	28.46	32.32	40.13	7.04	9.36	35.84	6	67.79	4.61
峰度	1131	1153	1542	1922	98	166	1549	49	5139	37.92
异常下限	84	10	0.42	50	182	3.8	1.4	2.4	4	5.1

注: Au单位为 $10^{-9}$ ;其余为 $10^{-6}$ 。

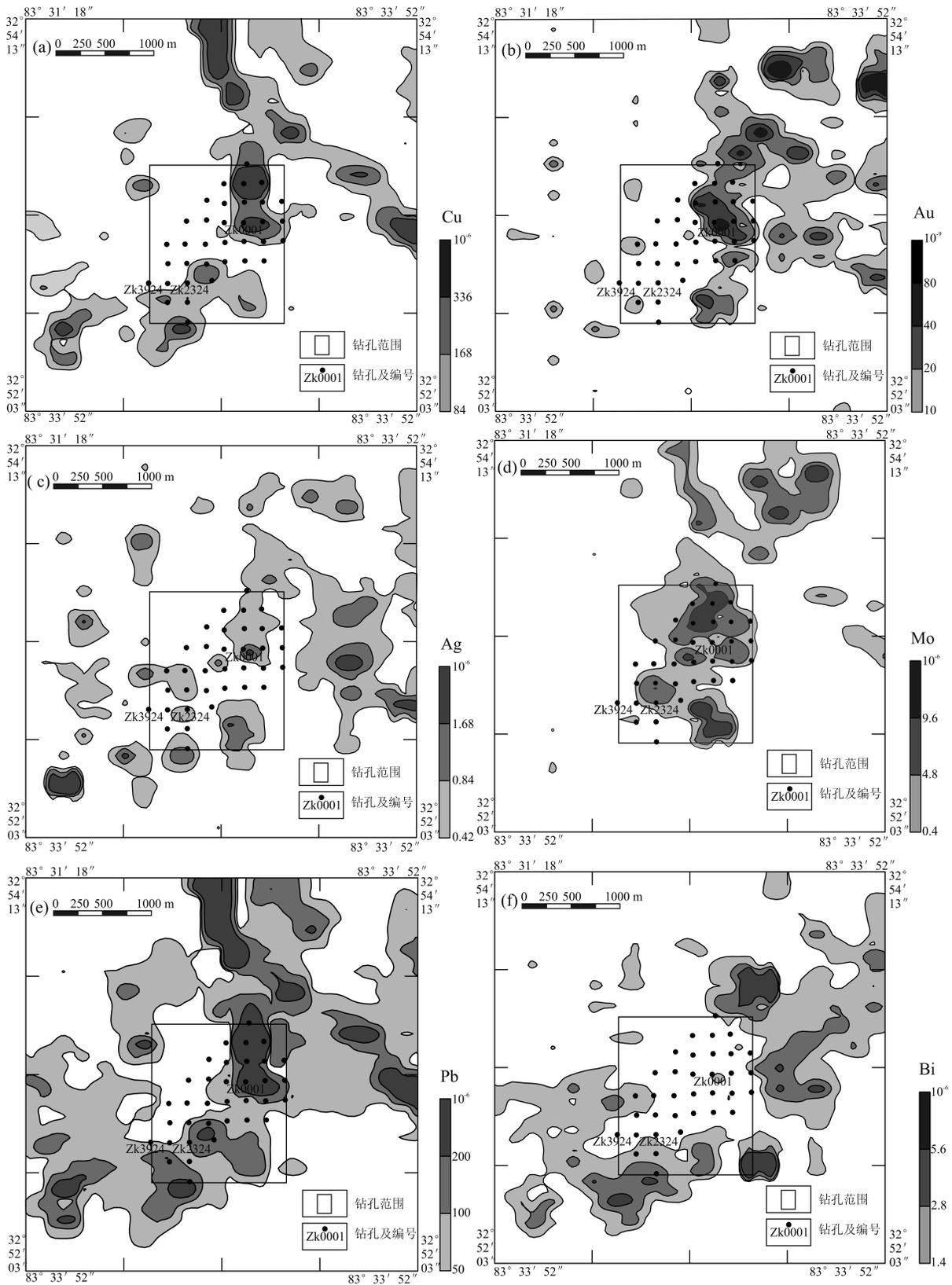


图6 拿若铜(金)矿区矿土壤地球化学测量各元素异常图

Fig.6 Anomaly map of various elements based on soil geochemical survey in the Naruo copper (gold) deposit

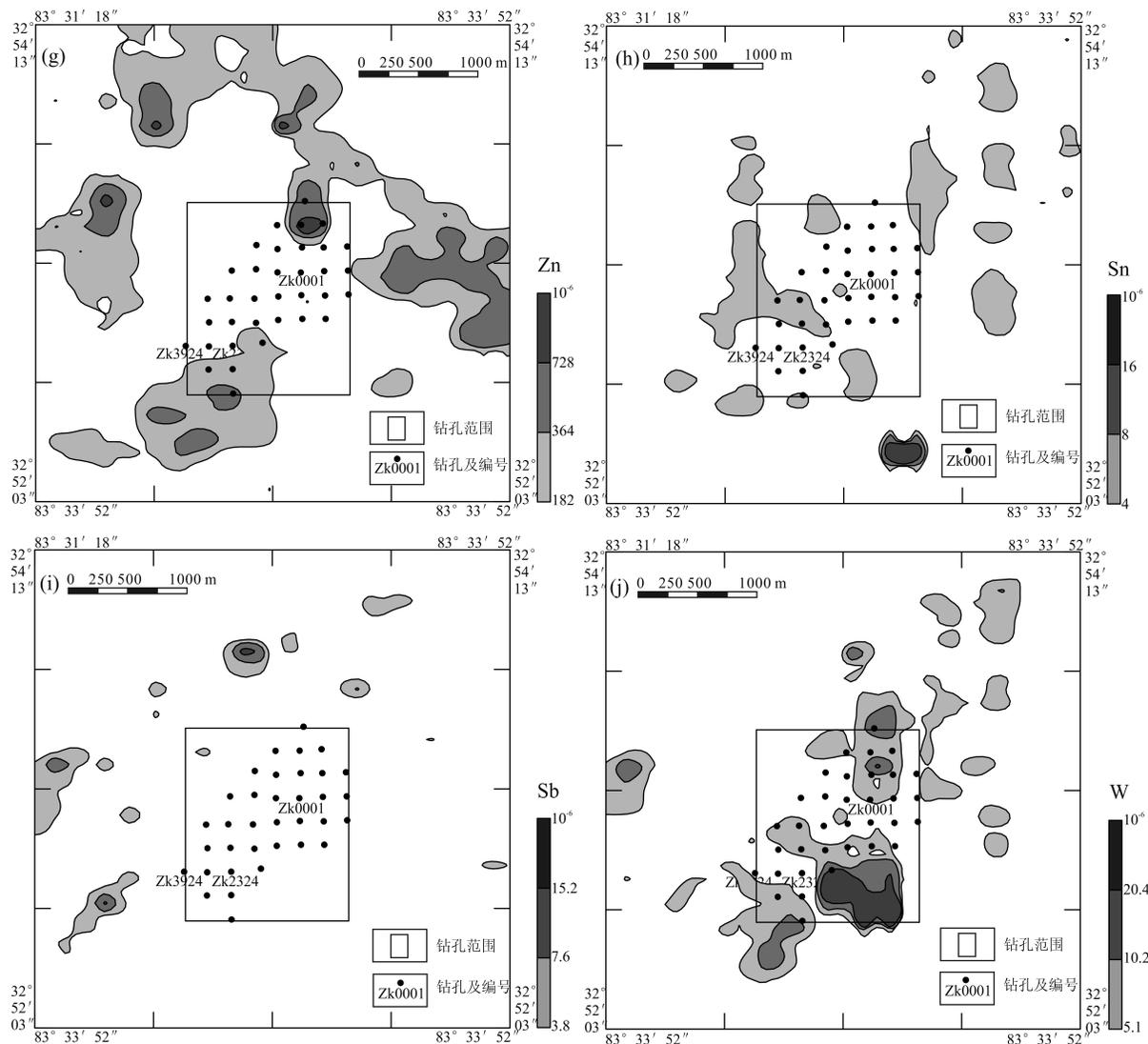


图6 拿若铜(金)矿区矿土壤地球化学测量各元素异常图(续)

Fig.6 Anomaly map of various elements based on soil geochemical survey in the Naruo copper (gold) deposit

的显示,而Pb、Zn则作为外带异常元素也具有较好的分带。

## 4 讨论

### 4.1 矿床剥蚀程度

矿床的异常元素组合及其元素分带特征是矿床模型的重要组成部分,是评价和预测矿床(体)剥蚀程度和矿化类型的重要标志<sup>[25]</sup>。拿若铜(金)矿床具有较典型的斑岩型铜(金)矿床的元素异常特征,且异常强度与矿体的剥蚀程度有关。在勘查地球化学中,Sb、Zn、Pb等元素被认为是典型的低温元素出现于矿床(体)前缘,根据拿若铜(金)矿区土壤地

球化学测量异常图(图6)分析可知,拿若铜(金)矿床缺失低温前缘异常元素如Zn、Sb等,Pb元素除在0、8线有较强异常出现,在矿体其余前缘均无异常或仅有较弱异常出现。该特征组合暗示着拿若铜(金)矿体的前缘已被剥蚀掉。W、Sn、Bi等元素属于高温元素,一般位于靠矿床深部或矿体尾部出现。而拿若矿体范围内,仅局部出现有W、Sn、Bi元素异常,且强度不高。该特征暗示着矿体的深部未剥蚀出来,仅刚刚将矿化岩体剥出,矿体保存较为完好,有完整的蚀变分带。Mo、Cu、Au、Ag等为中高温元素,往往对铜矿体起到直接指示作用,该异常组合在拿若矿床分布较广且强度较大,结合前

文,表明拿若铜(金)矿床的前缘和部分矿体可能已经被剥蚀。

对比矿集区内同样具有斑岩体出露的多不杂斑岩铜金矿床土壤异常(表2)以及未剥蚀出斑岩体的铁格隆南浅成低温热液型铜(金、银)矿床土壤异常(表3):多不杂斑岩矿床中高温内带异常元素Cu、Au、Ag、Bi、Mo、Sn等浓集中心最大值、均值以及异常下限值均不同程度小于拿若铜金矿床,而外围异常元素Pb、Zn、Sb等具有与拿若铜金矿床类似的数据值。该数据特征显示,虽两个相邻的同类型矿床均出现不同程度剥蚀,但多不杂斑岩铜金矿床的剥蚀程度较拿若斑岩铜金矿床低,而多不杂斑岩铜金矿床已剥露出钾化带<sup>[26]</sup>,印证了拿若铜金矿床的部

分矿体已被剥离,达到钾化带的地质事实。而铁格隆南铜(金、银)矿区相距拿若铜(金)矿床不足2 km,且区内斑岩体未出露,高温元素异常分布于目前控制矿体的外围,除Au元素异常下限以及Ag元素的均值明显低于拿若铜金矿床外,其余中高温元素具有与拿若斑岩铜(金)矿床相似或略低的均值、异常下限等,该特征可能对斑岩体位置具有一定指示意义。矿体前缘分布有较广的低温异常元素Pb、Zn、Sb等异常,具有与拿若铜金矿床相似的均值、异常下限等(这类异常主要分布于拿若矿床的外围),暗示着铁格隆南铜(金、银)矿床的剥蚀程度低,由深到浅,由内到外的异常蚀变分带保存完整,形成了可与拿若铜(金)矿床对比的分带模式。

表2 多不杂斑岩铜金矿1:1万土壤测量各元素地球化学特征<sup>[27]</sup>

Table 2 Geochemical features of various elements in soil survey at the scale of 1:10 000 in the Duobuza porphyry Cu-Au deposit<sup>[27]</sup>

地球化学特征	Cu	Au	Ag	Pb	Zn	Sb	Bi	Mo	Sn
样品数	3358	3351	3358	3358	3358	3358	3357	3358	3358
最小值	6.2	0.4	0.031	8.3	14.2	0.12	0.04	0.39	0.76
最大值	246.5	138.81	0.637	282.4	327	5.83	1.88	7.62	4.9
均值	36.3	4.17	0.099	31.6	83.2	1.37	0.42	0.97	2.29
变异系数	88.4	232	71.4	82	60	63.4	73.3	76.2	26.9
偏度	4.11	10.46	4.08	4.96	2.76	2.77	2.98	5.96	1.12
峰度	2.69	132.09	21.47	32.91	8.69	9.39	9.57	43.6	2.05
异常下限	42.1	4.91	0.117	34.5	110.7	1.91	0.53	1.21	3.32

注:Au单位为 $10^{-9}$ ;其余为 $10^{-6}$ 。

表3 铁格隆南浅成低温热液型铜(金、银)矿床1:1万土壤测量各元素地球化学特征<sup>①</sup>

Table 3 Geochemical features of various elements in soil survey at the scale of 1:10 000 in south Tiegelong epithermal copper (gold-silver) deposit<sup>①</sup>

地球化学特征	Cu	Au	Ag	Pb	Zn	Sb	Bi	Mo	Sn
样品数	663	663	663	663	663	663	663	663	663
最小值	13.9	0.62	0.04	14	21.3	0.09	0.1	0.31	1.3
最大值	1860	119	0.58	135	449	23.8	9.28	13.4	18.4
均值	63.51	2.58	0.10	33.13	76.21	1.79	0.58	1.40	2.84
标准偏差	123.35	4.93	0.04	16.86	35.37	2.30	0.77	1.52	1.40
变异系数	1.94	1.91	0.44	0.51	0.46	1.28	1.33	1.09	0.49
偏度	7.99	20.18	4.07	2.44	4.39	3.86	6.07	4.47	4.64
峰度	86.36	471.06	32.32	7.72	30.92	22.25	51.64	26.28	35.03
异常下限	82	0.14	0.14	50	102.5	3.5	1.1	2.8	3.7

注:Au单位为 $10^{-9}$ ;其余为 $10^{-6}$ 。

①李彦波,范安辉.西藏自治区改则县拿若铜矿调查评价1:1万土壤化探测量工作报告[R].拉萨:西藏区地质调查院,2012.

### 4.2 勘查地球化学模型

拿若铜金矿区内带异常的元素组合为W、Cu、Au、Mo、Ag、(Pb)；分布于异常中外带的异常元素有(Bi、Sn)、Pb、Zn、Sb。需要指出的是，在ZK0001附近(岩体及矿化中心)，蚀变分带以黄铁-绢英岩化带、钾硅化带为主，由于已经出现钾硅化带，该处异常元素组合主要为中高温元素Mo、Cu、Au、Ag异常；W元素一般位于斑岩矿体深部或矿体尾部，但是当W在溶液中浓度不高时，将随Fe、Mn等沉淀于含Fe矿物中<sup>[25]</sup>，例如，德兴斑岩铜矿的W异常与赤(镜)铁矿的分布相关<sup>[28-29]</sup>，所以矿区W高异常的出现可能与黄铁-绢英岩化带中大量分布的赤(镜)铁矿有关。Pb元素在0线附近的高异常则可能与岩体的分布有关。因为在岩浆阶段，Pb主要代替K进入含K矿物，进而呈类质同像状态进入造岩矿物成为了0线附近的Pb异常的一个重要原因；此外，由于青磐岩化在该带内的叠加，使得在矿化中心附近的Pb异常叠加和中心以N的部分钻孔出现Zn异常。Bi和Sn元素均为高温元素，通常异常出现于斑岩矿体的深部，而在ZK0001附近的剥蚀程度相对较低，所以Bi和Sn元素在该处未出现异常或低异常。但在23线和31线(SW侧矿体)，可能由于剥蚀程度相对较高(负地形)，有Bi、Sn、W、Mo、Cu、Ag等的中高温元素异常出现，并缺失Sb、Zn、Pb等低温元素异常。

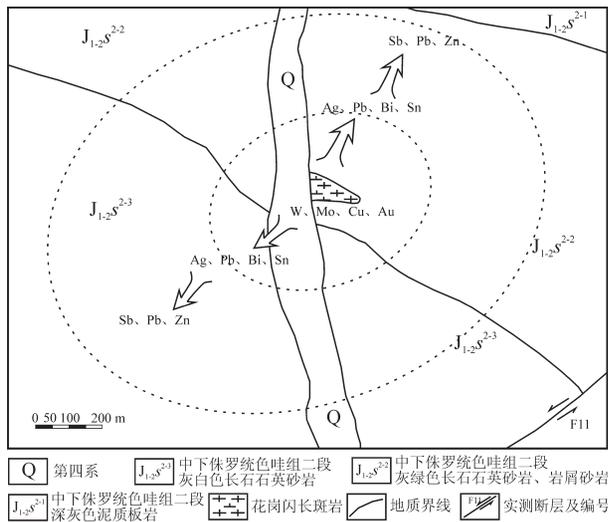


图7 拿若斑岩铜(金)矿床勘查地球化学模型示意图  
Fig.7 Schematic diagram of the exploration geochemistry model for the Naruo porphyry copper (gold) deposit

综上所述，拿若铜金矿床土壤地球化学测量内带异常元素组合为W-Cu-Mo-Au-Ag-Pb-Bi-Sn；中外带异常元素组合为Sb-Pb-Zn(图7)。

### 4.3 找矿方向

拿若和多不杂、波龙等矿床成矿均与矿区内的花岗闪长斑岩体密切相关<sup>[30-33]</sup>，所以斑岩体的出露位置对找矿具有一定的指示作用。根据目前资料看来，拿若矿区主要发育Cu(Au)矿体，Ag矿化不连续、品位较低。根据拿若区内Cu(Au)矿体厚度等值线图(图4-d)，可以看出矿体在0、7、8、15线钻孔矿体厚度达到最大，往NE和SW方向延伸后逐渐变薄，在ZK3924附近矿体有变厚趋势。现选取ZK3924、ZK3124、ZK2324钻孔作E-W向II-II'剖面图并圈出矿体(图8)，发现矿体的产状和隐爆

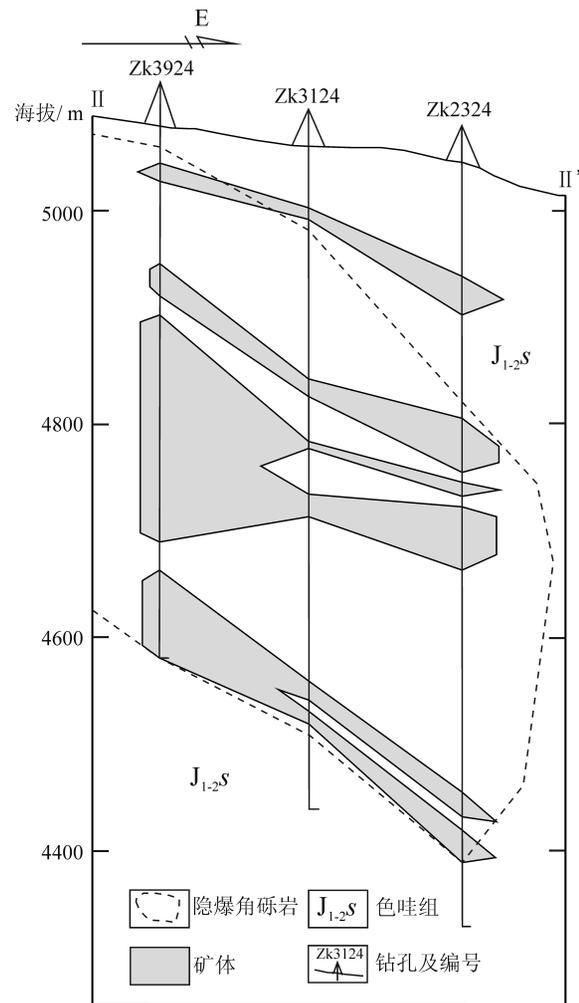


图8 拿若铜(金)矿区II-II'剖面  
Fig.8 The II-II' vertical section of the Naruo copper (gold) deposit

角砾岩筒的产状相似,所以推测该处矿体可能与隐爆角砾岩成矿有关。在矿区SW侧可能还有斑岩体的侵位,所以在该区域寻找隐爆角砾岩筒型铜金矿具有较大的潜力。此外,矿区的NE侧,8号勘探线矿体厚大,但是在16号勘探线钻孔却没有打出矿体,造成矿体突然尖灭的原因,有待进一步查明。

## 5 结 论

(1)拿若矿区成矿元素分带特征为:平面上从0线开始至31线,从NE向SW,具有W、Mo、Cu→Mo(Cu、Au)→Cu、Au(Ag、Mo、Pb)→Pb→Pb、Zn分布特征。剖面上,成矿元素的垂向分带特征不明显,而各元素间却具一定的相关性。以ZK0001为起始,SW向钻孔内对应矿化依次为Cu+Au→Cu(Au、Ag)→Cu(Ag、Au)→Cu(Ag)。该特征表明热源和流体源来自0线附近,由花岗岩脉侵位形成,流体向四周运移,并具主要由ZK0001向SW运移的特点。

(2)成矿元素的富集能力,从大到小排列的顺序依次为: Au>Pb>Ag>Cu>Zn。亲氧元素Bi、Mo、Sn富集能力相对较弱。

(3)化探异常元素分带性较清晰,套叠好,强度大:内带异常元素组合为W-Cu-Mo-Au-Ag-Pb-Bi-Sn,外围异常元素组合为Sb-Pb-Zn,表明矿体未遭受大的剥蚀,剥蚀程度较低。

(4)矿区SW侧矿体与该区的隐爆角砾岩形成有关。在该区域继续寻找隐爆角砾岩筒型铜金矿体具有较大的找矿潜力。

**致谢:** 本文在编写过程中得到唐菊兴研究员与项目团队的支持和帮助,在此深表谢意!同时感谢中铝资源为作者的野外工作和室内工作提供的资助。

## 参考文献(Reference):

- [1] 唐菊兴,孙兴国,丁帅,等. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床[J]. 地球学报, 2014, 35(1): 6-10.  
Tang Juxing, Sun Xingguo, Ding Shuai, et al. Discovery of the Epithermal Deposit of Cu (Au-Ag) in the Duolong Ore Concentrating Area, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica. 2014, 35 (1): 6-10(in Chinese with English abstract).
- [2] 芮宗瑶,陆彦,李光明,等. 西藏斑岩铜矿的前景展望[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 302-308.  
Rui Zongyao, Lu Yan, Li Guangming, et al. Looking forward to the prospects of porphyry copper deposits in Tibet[J]. Geology in

China, 2003, 30(3): 302-308(in Chinese with English abstract).

- [3] 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).
- [4] 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 with English abstract).
- [5] 任纪舜,肖黎薇. 1:25万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 1-11.  
Ren Jishun, Xiao Liwei. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250000 geological mapping[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- [6] 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): 3-1, 3-23.
- [7] Ding L, Kapp P, Yin A, et al. Early Tertiary volcanism in the Qiangtang terrane of central Tibet: Evidence for a transition from oceanic to continental subduction[J]. Journal of Petrology, 2003, 44: 1833-1865.
- [8] Hsü K J, Pan G T and Sengor A M C. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau: A working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis[J]. International Geology Review, 1995, 37: 473-508.
- [9] 潘桂棠,王立全,朱弟成. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 12-19.  
Pan Guitang, Wang Liquan, Zhu Dicheng. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China. 2004, 23 (1): 12-19(in Chinese with English abstract).
- [10] 莫宣学,董国臣,赵志丹,等. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 281-290.  
Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhao Zhidan, et al. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdise, Tibet and implication for crustal growth and evolution[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11 (3): 281-290(in Chinese with English abstract).
- [11] 朱弟成,潘桂棠,莫宣学,等. 冈底斯中北部晚侏罗世-早白垩世地

- 球动力学环境: 火山岩约束[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 534–546.
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, et al. Late Jurassic–Early Cretaceous geodynamic setting in middle–northern Gangdise: New insights from volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(3): 534–546(in Chinese with English abstract).
- [12] 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, 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).
- [13] 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. Metallogenic conditions and possible occurrences for epithermal gold–silver mineralizations in Gangdise and Bangonghu belts, Tibet: In views of porphyry–epithermal Cu–Au metallogenetic systematics[C]//Chen Yuchuan, Mao Jingwen, Xue Chunji (eds.). *Proceedings of 8th State Mineral Deposit Conference*, Beijing: Geological Publishing House, 2006, 666–670(in Chinese with English abstract).
- [14] 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 Bangonghu–Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(8): 1261–1274(in Chinese with English abstract).
- [15] 杜德道, 曲晓明, 王根厚, 等. 怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U–Pb 年龄和元素地球化学的证据[J]. 岩石学报, 2011, 27(7): 1993–2002.
- Du Dedao, Qu Xiaoming, Wang Genhou, et al. Bidirectional subduction of the Middle Tethys oceanic basin in the west segment of Bangonghu–Nujiang suture, Tibet: Evidence from zircon U–Pb LA–ICP–MS dating and petrogeochemistry of arc granites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(7): 1993–2002(in Chinese with English abstract).
- [16] 祝向平, 陈华安, 马东方, 等. 西藏多不杂斑岩铜金矿钾长石  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义[J]. 现代地质, 2012, 26(4): 656–662.
- Zhu Xiangping, Chen Huaan, Ma Dongfang, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating for K–feldspar from Duobuza Porphyry Copper–gold Deposit in Tibet, China and Its Geological Significance[J]. *GeoScience*. 2012, 26(4): 656–662(in Chinese with English abstract).
- [17] 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, 32(2): 185–196(in Chinese with English abstract).
- [18] 宋俊龙, 唐菊兴, 杨超, 等. 班公湖–怒江缝合带西段拿若斑岩型铜矿隐爆角砾岩特征[C]//翟裕生, 陈毓川, (主编). 第六届全国成矿理论与找矿方法学术研讨会. 矿物学报, 2013, 33(2): 817–818.
- Song Junlong, Tang Juxiong, Yang Chao, et al. Cryptoexplosive breccia features of Naruo porphyry copper deposit, the west of Bangonghu–Nujiang tectonic belt[C]//Zhai Yusheng, Chen Yuchuan (eds.). *The Sixth National Conference on Theory and Prospecting Methods of Mineralization*. *Acta Mineralogica Sinica*, 2013, 33(2): 817–818(in Chinese with English abstract).
- [19] Khashgerel B E, Kavalieris I, Hayashi K. Mineralogy, textures, and whole–rock geochemistry of advanced argillic alteration: Hugo Dummett porphyry Cu–Au deposit, Oyu Tolgoi mineral district, Mongolia[J]. *Mineralium Deposita*, 2008, 43: 913–932.
- [20] Sillitoe. Porphyry Copper Systems[J]. *Economic Geology*, 2010, 105: 3–41.
- [21] 侯增谦, 杨志明. 中国大陆环境典型斑岩型矿床成矿规律和找矿模型研究进展[J]. 矿床地质, 2012, 31(4): 645–646.
- Hou Z Q, Yang Z M. Research Progress of the typical porphyry deposit's metallogenic regularity and prospecting model in continental environment of China[J]. *Mineral Deposits*, 2012, 31(4): 645–646(in Chinese with English abstract).
- [22] 毛景文, 周振华, 武广, 等. 内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 715–729.
- Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Wu Guang, et al. Metallogenic regularity and minerogenetic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent areas[J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(4): 715–729(in Chinese with English abstract).
- [23] 王学求. 巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学[J]. 矿床地质, 2000, 19(1): 76–86.
- Wang Xueqiu. Exploration Geochemistry for Giant Ore Deposits or World–Class Camps in concealed Terrains[J]. *Mineral Deposits*, 2000, 19(1): 76–86(in Chinese with English abstract).
- [24] 唐菊兴, 邓世林, 郑文宝, 等. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型[J]. 矿床地质, 2011, 30(2): 179–196.
- Tang Juxing, Deng Shilin, Zheng Wenbao, et al. An exploration model for Jiama copper polymetallic deposit in Maizhokunggar County, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 2011, 30(2): 179–196(in

- Chinese with English abstract).
- [25] 吴承烈, 徐外生, 刘崇民. 中国主要类型铜矿勘查地球化学模型[M]. 北京: 地质出版社, 1998, 1-245.
- Wu Chenglie, Xu Waisheng, Liu Chongmin. Main Types of Copper Exploration Geochemistry Models in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998, 1- 245(in Chinese with English abstract).
- [26] 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): 119-206.
- Zhu Xiangping, Chen Huaan, Ma Dongfang, et al. Geology and alteration of the Duobuza porphyry copper- gold deposit in Tibet[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(2): 199- 206(in Chinese with English abstract).
- [27] 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 Yubin, 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).
- [28] 朱训, 等. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社, 1983: 1-336.
- Zhu Xun, et al. Porphyry Copper in Dexing[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983: 1- 336(in Chinese with English abstract).
- [29] 万大理. 江西富家坞斑岩铜(钼)矿床地球化学异常特征[J]. 地质与勘探, 1995, 31(4): 47-51.
- Wan Dali. Geochemical anomaly features of the Fujiawu porphyry copper (Molybdenum) Deposit, Jianxi Province[J]. Geology and Exploration, 1995, 31(4): 47- 51(in Chinese with English abstract).
- [30] 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).
- [31] 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 Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5): 935-952(in Chinese with English abstract).
- [32] 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): 1434-1447.
- She Hongquan, Li Jinwen, Feng Chengyou, et al. The high-temperature and high-salinity its fluid inclusions and its implications to the metallogenesis in Duobuza porphyry copper deposit, Tibet[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(9): 1434-1447 (in Chinese with English abstract).
- [33] 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).

## Metallogenic element spatial distribution of the Naruo copper (gold) deposit in the Duolong ore concentration area of Tibet and its geochemical exploration model

FANG Xiang<sup>1</sup>, TANG Ju-xing<sup>2</sup>, LI Yan-bo<sup>3</sup>, WANG Qing<sup>1</sup>, DING Shuai<sup>1</sup>, ZHANG Zhi<sup>1</sup>,  
YANG Chao<sup>2</sup>, LI Yu-bing<sup>1,3</sup>, CHEN Hong-qi<sup>3</sup>, WEI Lu-jie<sup>3</sup>, NI Ma<sup>3</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. No. 5 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Golmud 816000, Qinghai, China)

**Abstract:** After the discovery of Duobuzha and Bolong copper (gold) deposit, the exploration of the Naruo copper (gold) deposit, a large porphyry deposit, is a major breakthrough in the Duolong ore district. Based on the prospecting engineering analysis data, the authors studied the spatial distribution of metallogenic elements. The vertical zonation of metallogenic elements is not obvious, but the zoning in the plane is fairly clear: from the center of ZK0001 southwestward there exists zonation of Cu+Au→Cu(Au, Ag)→Cu(Ag, Au)→Cu(Ag). According to the soil geochemical survey, from No. 0 to No. 31 exploration line (from northeast to southwest), the zonation is Mo, Cu→Mo (Cu, Au)→Cu, Au(Ag, Mo, Pb)→Pb→Pb, Zn, suggesting that the migration direction of ore-forming fluid was from No. 0 and No. 7 line to the surrounding areas (mainly from northeast to southwest), and its materials and heat sources were near No. 0 line. Finally, through the study of geological features and element zonation, the authors established a geochemical exploration model of the Naruo ore district.

**Key words:** Duolong ore concentration area; porphyry Cu (Au) deposit; zoning characteristics; geochemical exploration model; prospecting prediction; Tibet

---

**About the first author:** FANG Xiang, male, born in 1990, master candidate, engages in geochemical study of ore deposits; E-mail: francisfx@126.com.