

## 西藏多龙矿集区铁格隆矿田荣那和拿若矿床 蚀变矿化特征与三维勘查模型<sup>\*</sup>

江少卿<sup>1</sup> 李 丽<sup>1</sup> 冯 瑞<sup>2</sup> 孙兴国<sup>3</sup> 杨铁铮<sup>1</sup> 袁华山<sup>3</sup> 印贤波<sup>3</sup>,  
王 策<sup>1</sup> 潘燕兵<sup>1</sup>

(1 中铝矿产资源有限公司, 北京 100082; 2 中国黄金集团内蒙古矿业有限公司, 内蒙古 满洲里 021400;  
3 中铝西藏矿业有限公司, 西藏 拉萨 814000)

**摘 要** 铁格隆矿田位于班公湖\_怒江成矿带西段的多龙矿集区西北部。2012 ~ 2013 年中铝矿产资源有限公司在铁格隆矿田长 5.5 km、宽 3 km 范围内探获 2 个超大型铜金矿床——荣那和拿若矿床, 新增铜金属量 640.27 万吨, 伴生金金属量 136.14 吨, 伴生银金属量 1780.09 吨。文章重点研究了荣那和拿若矿床的成矿地质条件、找矿标志、矿体空间结构、三维勘查模型等。研究表明, 两矿床的赋矿地层均为中侏罗统色哇组变质(长石)石英砂岩, 但两矿床又有不同: ① 荣那矿床的斑岩\_浅成低温热液体系中花岗闪长斑岩、花岗斑岩控制了铜金矿体的分布, 黄铁绢英岩化带构成主要矿化蚀变带; ② 拿若矿床东北侧为斑岩型高品位铜金矿体, 黄铁绢英岩化带构成主要矿化蚀变带; 西南侧为隐爆角砾岩型低品位铜金矿体, 青磐岩化带构成主要矿化蚀变带。文章还介绍了近两年在该矿田找矿取得的实践经验: 通过开展三维地质建模和蚀变矿物解译, 结合物化探数据的二次开发, 查明地质时空分布特征, 建立矿床蚀变模型, 进一步对资源进行动态评价, 指导了成矿预测, 提高了找矿效率。

**关键词** 地质学; 蚀变矿化; 勘查模型; 荣那和拿若铜金矿床; 多龙

中图分类号: P618.41; P618.51

文献标志码: A

## Alteration, mineralization, and three-dimensional exploration model of Rongna and Naruo deposits in Tiegelong orefield, Duolong ore concentration area, northern Tibet

JIANG ShaoQing<sup>1</sup>, LI Li<sup>1</sup>, FENG Rui<sup>2</sup>, SUN XingGuo<sup>3</sup>, YANG TieZheng<sup>1</sup>, YUAN HuaShan<sup>3</sup>,  
YIN XianBo<sup>3</sup>, WANG Ce<sup>1</sup> and PAN YanBing<sup>1</sup>

(1 Chinalco Resources Corporation, Beijing 100082, China; 2 China Gold Inner Mongolia Mining Co., Ltd., Manzhouli 021400, Inner Mongolia, China; 3 Chinalco Tibet Mining Company, Lhasa 814000, Tibet, China)

### Abstract

The Tiegelong orefield is located in northwestern Duolong ore concentration area along westernern Bangong Co\_Nujiang River suture zone. In 2012 ~ 2013, Chinalco Resources Corporation found two superlarge copper\_gold deposits of Rongna and Naruo in the Tiegelong orefield within an area of 5.5 km × 3 km, and increased mineral resources by Cu 6.4027 × 10<sup>6</sup> t, Au 136.14 t and Ag 1780.09 t. This paper deals with the geological setting, prospecting indicators, spatial structures of orebodies, and 3D exploration models for Rongna and Naruo deposits. Researches indicate that the two deposits are both hosted in altered (feldspathic\_) quartz sandstone of the Middle Ju-

<sup>\*</sup> 本文得到国家自然科学基金(编号: 41102021)的资助

第一作者简介 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。Email: jiangshaqing83@163.com。

收稿日期 2014\_04\_01; 改回日期 2014\_05\_15。张绮玲编辑。

rassic Sewa Formation, and have the following characteristics: ① The Rongna deposit belongs to a porphyry\_thermal system, and have two different stages of diorite\_porphyry and granite\_porphyry which control the layout of orebodies. The pyrite\_phyllic alteration forms the major mineralization zone; ② The Naruo deposit shows distinct characteristics in two different areas: in the northeastern area, the high\_grade Cu\_Au orebody is of the porphyritic type, and the pyrite\_phyllic alteration forms the major mineralization zone; in the southwestern area, the low\_grade Cu\_Au orebody is of the cryptoexplosive breccia type, and the propylitization alteration forms the major mineralization zone. Combined with significant geological exploration achievements recently obtained in the Tiegelong ore-field, the authors gained some experience in the ore\_prospecting work: On the basis of conducting three\_dimensional geological modeling, carrying out alteration minerals interpretation and establishing alteration models, in combination with geophysical and geochemical data, researchers could conduct dynamic resource evaluation, which might further guide metallogenic prediction and improve prospecting efficiency.

**Key words:** geology, alteration and mineralization, exploration model, Rongna and Naruo Cu\_Au deposits, Duolong

铁格隆矿田位于藏北改则县物玛乡境内,班公湖\_怒江缝合带西段的多龙矿集区西北部。继 2007 年在多龙矿集区发现波龙、多不杂 2 个大型\_超大型铜矿床之后(李光明等,2007;李金祥等,2008;李玉彬等,2012) 2011 年在多龙西北部的铁格隆矿田发现铜金矿化线索,2012~2013 年在铁格隆矿田内发现 2 个超大型斑岩矿床——荣那和拿若铜金矿床。近两年来,中铝矿产资源有限公司在多龙地区全面开展地质找矿工作和成矿规律研究,在矿产勘查过程中结合蚀变矿物的识别、解译和三维建模技术,发现与铁格隆矿田成矿有密切关系的斑岩铜矿体的产状的重大变化,取得了重大找矿突破。

由于铁格隆矿田内的荣那和拿若矿床为近两年新发现的矿床,研究单位及一些学者仅对该矿田的地质特征、地球化学和成矿规律等方面开展过少量研究(江少卿等,2014;唐菊兴等,2014)。本文在前人工作的基础上,通过对矿田区域地质特征、矿床地质特征的阐述,结合近年的地质找矿实践、新技术的应用、地质现象的重要发现,根据各矿床的矿化特征和矿床产出构造位置,总结出铁格隆矿田斑岩铜矿的浅成低温热液型\_隐爆角砾岩型的成矿模式,提出了更有效的找矿模型,介绍了通过找矿勘查和综合找矿评价,发现并探明荣那和拿若超大型斑岩型铜(金)矿床的过程。

## 1 区域地质

铁格隆矿田位于多龙矿集区的西北部,地处班公湖\_怒江缝合带北缘南羌塘盆地。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位,即班公湖\_怒江缝合带(Yin et al., 2000; Kapp et al., 2003; 曹圣华等,2006; Geng et al., 2009; 耿全如等,2011;2012)。

区内地层主要为下\_中侏罗统色哇组( $J_{1-2}s$ )变质(长石)石英砂岩、岩屑砂岩夹深灰色至深黑色粉砂质板岩,荣那、拿若等铜矿(化)体就赋存在色哇组变质(长石)石英砂岩中;其次为少量的下白垩统美日切错组( $K_1m$ )玄武质安山岩、安山质角砾岩,与下伏色哇组( $J_{1-2}s$ )呈角度不整合接触;古近系渐新统康托组( $E_3k$ )紫红色砂砾岩,与下伏美日切错组( $K_1m$ )呈角度不整合接触;还有第四系(Q)残坡积物及松散砂砾堆积层。

区内构造活动强烈,以断裂构造为主,北东向断裂构造 F10 为主要控矿构造(余宏全等,2006;辛洪波等,2009;代晶晶等,2010;祝向平等,2011;Li G M et al., 2012)。荣那、拿若以及矿田外的波龙、多不杂等矿床均沿该断裂呈串珠状分布;其次为近北西向 F8、F7 断裂,荣那矿床位于 F10 与 F8 断裂的交汇部位(图 1)。

侵入岩有花岗闪长斑岩( $K_1\gamma\delta\pi$ )、花岗斑岩( $K_1\gamma\pi$ )、花岗闪长岩( $K_1\gamma\delta$ )等,矿田内荣那、拿若矿床的斑岩体主要为花岗闪长斑岩,其次为花岗斑岩。岩浆侵位时间为早白垩世(118~122) Ma,曲晓明等(2006;2013;余宏全等,2009;Li J X et al., 2011),岩体形成于班公湖\_怒江缝合带洋壳海盆从收缩到封闭的晚期,与缝合带的消减有关(Shi et al., 2008; Li J X et al., 2012; 吴德新等,2012)。

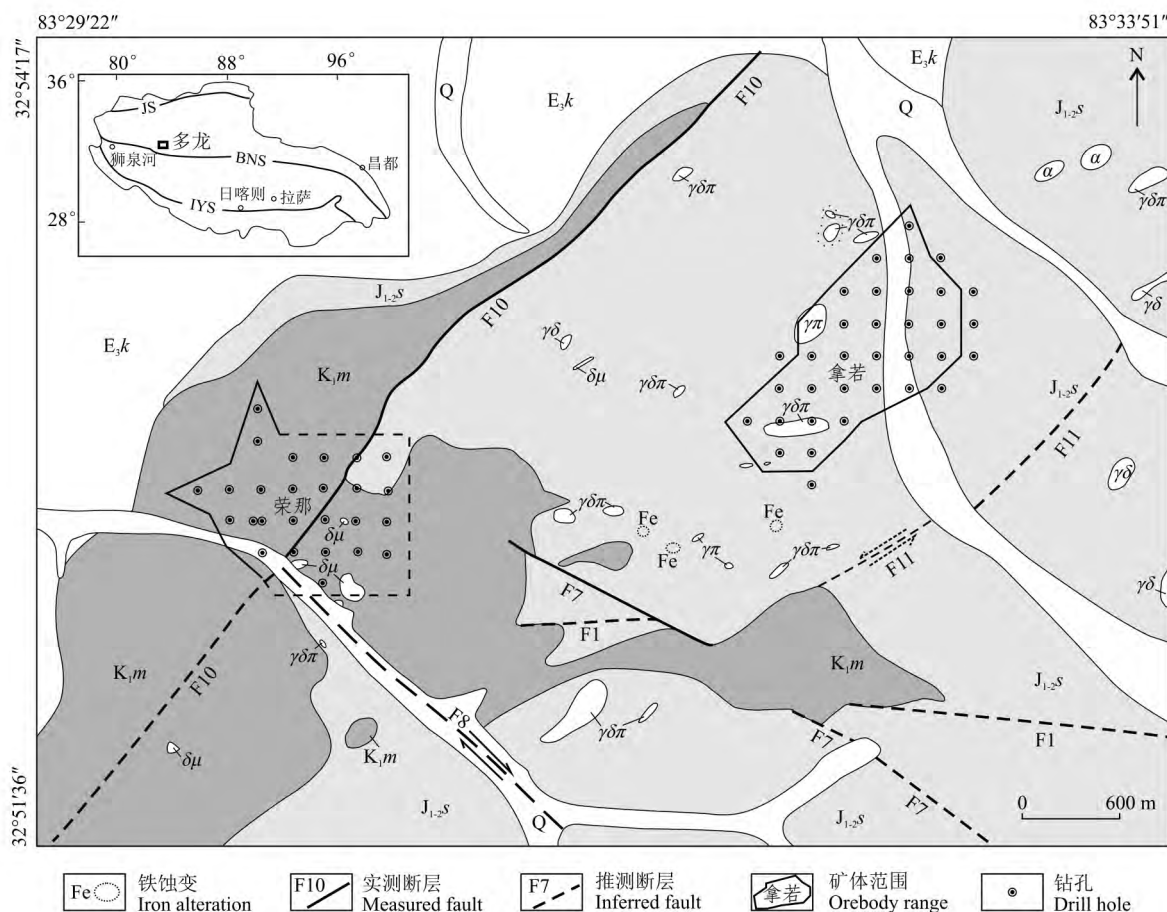


图1 铁格隆矿田地质图(据栗登逵等 2013 修改)

Q—第四系残坡积物;  $E_3k$ —渐新统康托组棕红色黏土及砂砾石层;  $K_1m$ —下白垩统美日切错组安山岩、玄武岩、火山角砾岩;  $J_{1-2}s$ —下-中侏罗统色哇组: 变质(长石)石英砂岩夹深灰色至深黑色变质石英粉砂岩;  $\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩;  $\gamma\pi$ —花岗斑岩;  $\alpha$ —安山岩;  $\delta\mu$ —安山玢岩;  $\gamma\delta$ —花岗闪长岩; LYS—雅鲁藏布江缝合带; BNS—班公湖-怒江缝合带; JS—金沙江缝合带

Fig. 1 Regional geological map of the Tiegelong ore concentration area (modified after Su et al., 2013)

Q—Quaternary eluvial and slope wash material;  $E_3k$ —Brownish red clay and gravel layers in the Oligocene Kangtuo Formation;  $K_1m$ —Volcanic breccia in the Cretaceous Meiriquicuo Formation;  $J_{1-2}s$ —Lower-Middle Jurassic Sewa Formation: altered (feldspathic) quartz sandstone conglomerate interbedded with dark black to dark gray altered quartz siltstone;  $\gamma\delta\pi$ —Granodiorite porphyry;  $\gamma\pi$ —Granitic porphyry;  $\alpha$ —Andesite;  $\delta\mu$ —Andesitic porphyrite;  $\gamma\delta$ —Granodiorite; LYS—Yarlung Zangbo River suture; BNS—Bangong Co-Nujiang River suture; JS—Jinsha River suture

## 2 矿床地质特征

2012~2013年,在铁格隆矿田5.5 km×3 km范围内,勘查并发现了荣那和拿若两个特大型铜金矿床,已探明铜的金属量716.73万吨,伴生金的金属量151.14吨,伴生银的金属量1780.09吨。与2011年中铝矿产资源有限公司投入找矿前的勘查成果相比(陈红旗等 2011),新增的铜金属量640.27万吨,为原勘探成果的9.4倍;新增伴生金的金属量136.14吨,新增伴生银的金属量1780.09吨(栗登逵

等 2013)。

### 2.1 荣那超大型铜金矿床

截止2013年末,矿区18个钻孔按200 m×200 m的工程间距,控制了连续厚大的铜矿体(图2),多数见矿钻孔终孔于矿体内。初步探明荣那铜矿体东西长1400 m,南北宽1000 m,矿体东、南侧均未圈闭,钻孔控制最大见矿深度为1137.89 m,获得铜品位大于0.20%的332+333级别的铜金属量及平均品位为479.9万吨及0.57%;伴生金的金属量65.96吨,伴生银的金属量988.42吨(栗登逵等 2013)。

矿区出露地层主要为下-中侏罗统色哇组( $J_{1-2}s$ )

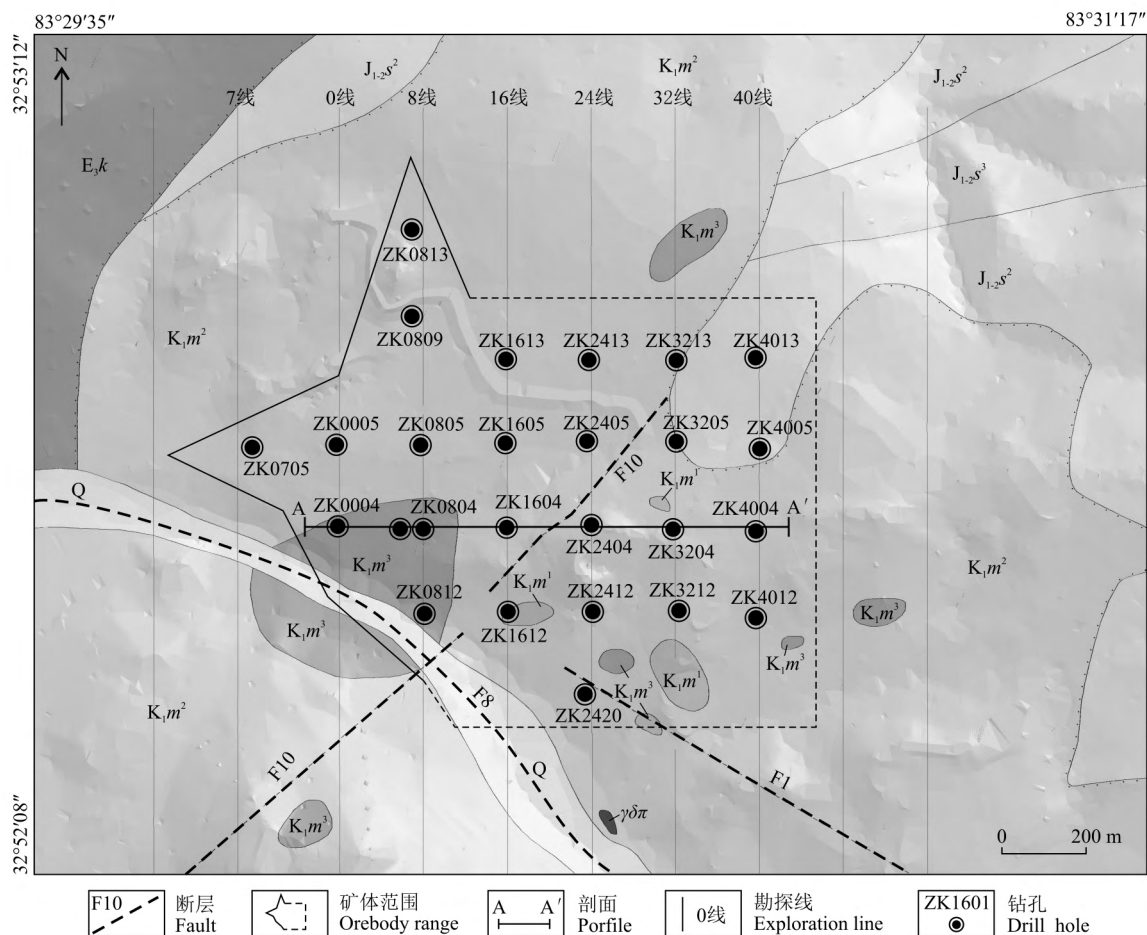


图2 荣那铜金矿床地质与工程部署简图(据栗登逵等 2013 修改)

Q—第四系残坡积物;  $E_3k$ —上新统康托组棕红色黏土及砂砾石层;  $K_1m^3$ —下白垩统美日切错组下段玄武岩;  $K_1m^2$ —下白垩统美日切错组中段安山岩;  $K_1m^1$ —下白垩统美日切错组上段火山角砾岩、集块岩;  $J_{1-2}s^3$ —下-中侏罗统色哇组上段灰白色变质(长石)石英砂岩;  $J_{1-2}s^2$ —下-中侏罗统色哇组二段: 变质石英砂岩、变质(长石)石英砂岩夹深灰色粉砂质板岩;  $\gamma\delta\pi$ —花岗闪长斑岩

Fig. 2 Geology and project layout of the Rongna Cu-Au deposit (modified after Su et al., 2013)

Q—Quaternary eluvial and slope wash material;  $E_3k$ —Brownish clay and gravel layers in the Upper Oligocene Kangtuo Formation;  $K_1m^3$ —Basalt in the 3rd Member of the Lower Cretaceous Meiriquiecuo Formation;  $K_1m^2$ —Andesite in the 2nd Member of the Lower Cretaceous Meiriquiecuo Formation;  $K_1m^1$ —Volcanic breccia and agglomerate in the 1st Member of the Lower Cretaceous Meiriquiecuo Formation;  $J_{1-2}s^3$ —3rd Member of the Lower-Middle Jurassic Sewa Formation: grayish white altered (feldspathic-) quartz sandstone;  $J_{1-2}s^2$ —2nd Member of the Lower-Middle Jurassic Sewa Formation: altered quartz sandstone, altered (feldspathic-) quartz sandstone interbedded with dark ray silty slate;  $\gamma\delta\pi$ —Granodiorite porphyry

变质(长石)石英砂岩夹深灰色粉砂质板岩,下白垩统美日切错组( $K_1m$ )红褐色安山岩及火山碎屑岩,古近系渐新统康托组( $E_3k$ )紫红色黏土及砂砾石层,第四系沉积物(Q)(图2)。矿区主要为断裂和褶皱构造。断裂构造有2组:呈北东向展布的F10和北西向展布的F8。荣那矿床位于2组断裂的交汇部位。背斜构造明显,背斜轴呈北东走向,向南西倾伏,矿体产于背斜核部。矿区侵入岩主要为花岗闪长斑岩和花岗斑岩,含矿斑岩均呈厚板状、岩株状产

出。钻孔控制的厚板状斑岩呈近东西向展布,长约1200 m,宽约800 m。

从地表看,远离岩体的色哇组变质(长石)石英砂岩褐铁矿化强烈,形成大面积的“火烧皮”。矿体厚度大,铜品位高,连续性好,矿床规模大,形态完整(图3)。矿体未遭受剥蚀,主要产于黄铁绢英岩化带内。美日切错组安山岩呈不整合覆于矿体之上。赋矿岩石为花岗闪长斑岩、花岗斑岩及角闪岩化(长石)石英砂岩。

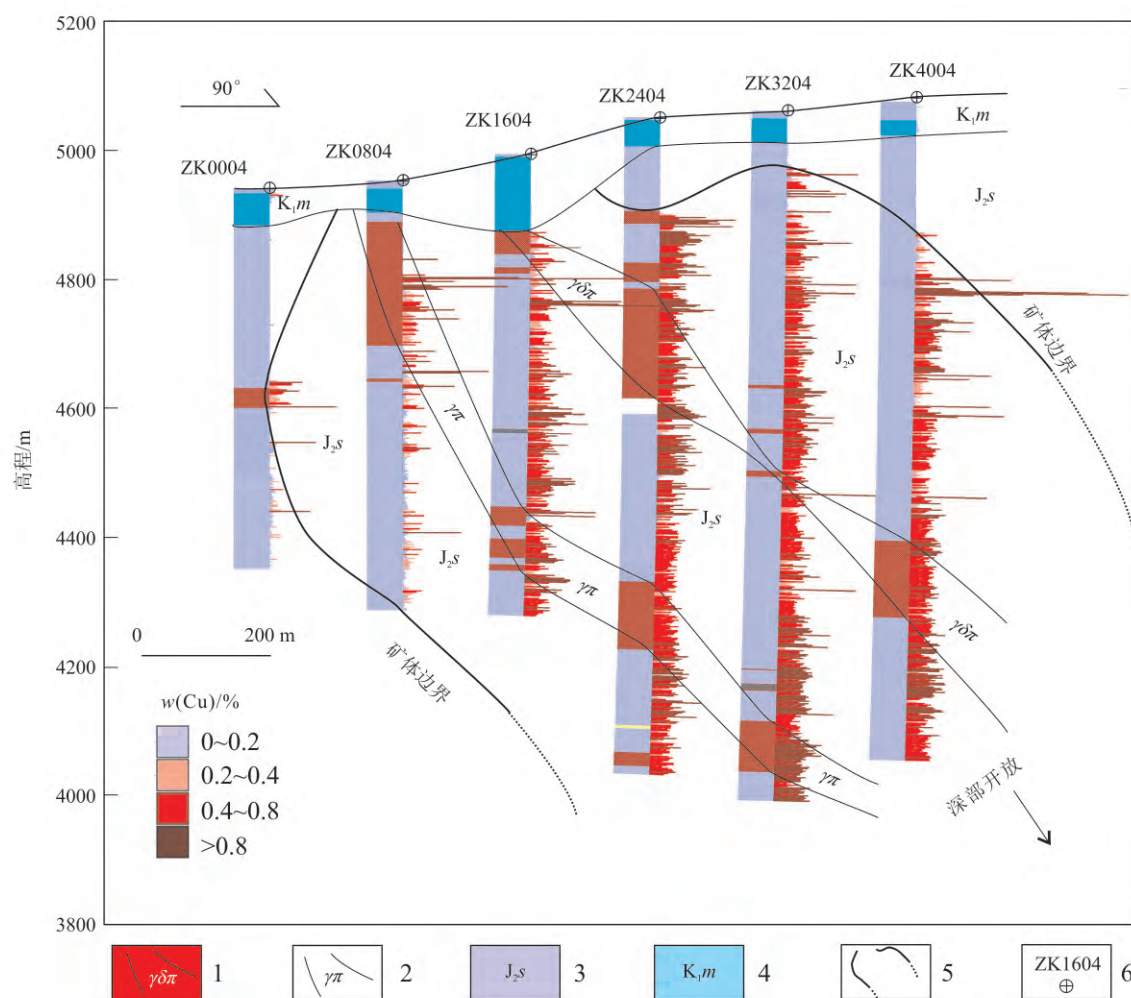


图3 荣那铜金矿床04排(A-A')纵剖面图

1—花岗闪长斑岩体; 2—花岗斑岩体; 3—色哇组变质(长石)石英砂岩; 4—美日切错组安山岩; 5—铜矿体范围; 6—钻孔

Fig. 3 No. 04 vertical section in A-A' direction of the Rongna Cu-Au deposit

1—Granodiorite-porphyritic body; 2—Granitic porphyry; 3—Altered (feldspathic) quartz sandstone of the Sewa Formation;

4—Andesite of the Meiriqueuo Formation; 5—Copper orebody; 6—Drill hole

矿石以原生矿石为主,氧化矿石不太发育,虽见孔雀石与铜蓝等次生金属矿物,但未发现次生富集带。矿石类型简单,主要为角岩型、斑岩型矿石,矿化呈致密、细脉浸染状。矿石矿物以斑铜矿、黝铜矿、硫砷铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿、褐铁矿、赤铁矿等为主,脉石矿物以石英、石膏、绿帘石、绿泥石、明矾石、玉髓等为主。围岩蚀变主要为黄铁绢英岩化,以及少量的青磐岩化,泥化不发育。矿床成因为斑岩-浅成低温热液型矿床。

## 2.2 拿若超大型铜矿床

拿若矿区出露的地层与荣那基本相同,不同之处为美日切错组安山岩未在拿若矿区出现。拿若矿床外围主要发育2组近平行的北东向断层F10和

F11,矿床位于2个断层之间,成矿部位在拿若沟背斜的西翼。矿区侵入岩主要为花岗闪长斑岩。

截止2013年末,矿区33个钻孔按200 m×200 m的工程间距控制铜矿体(图4),矿体南西侧尚未圈闭。矿体走向呈北东向,西薄东厚。斑岩铜矿体东西长1600 m,南北宽1400 m,矿体垂深最厚406.37 m。截止2013年末,详查获得铜品位大于0.20%的332+333级别铜金属量和平均品位为236.83万吨和0.41%;伴生金的金属量85.18吨,伴生银的金属量791.67吨。

位于矿区东侧的拿若沟中有少量砂金分布,地表出露有花岗闪长斑岩岩体,也发育大面积褐铁矿化的“火烧皮”。拿若铜金矿体为隐伏矿体,矿体以

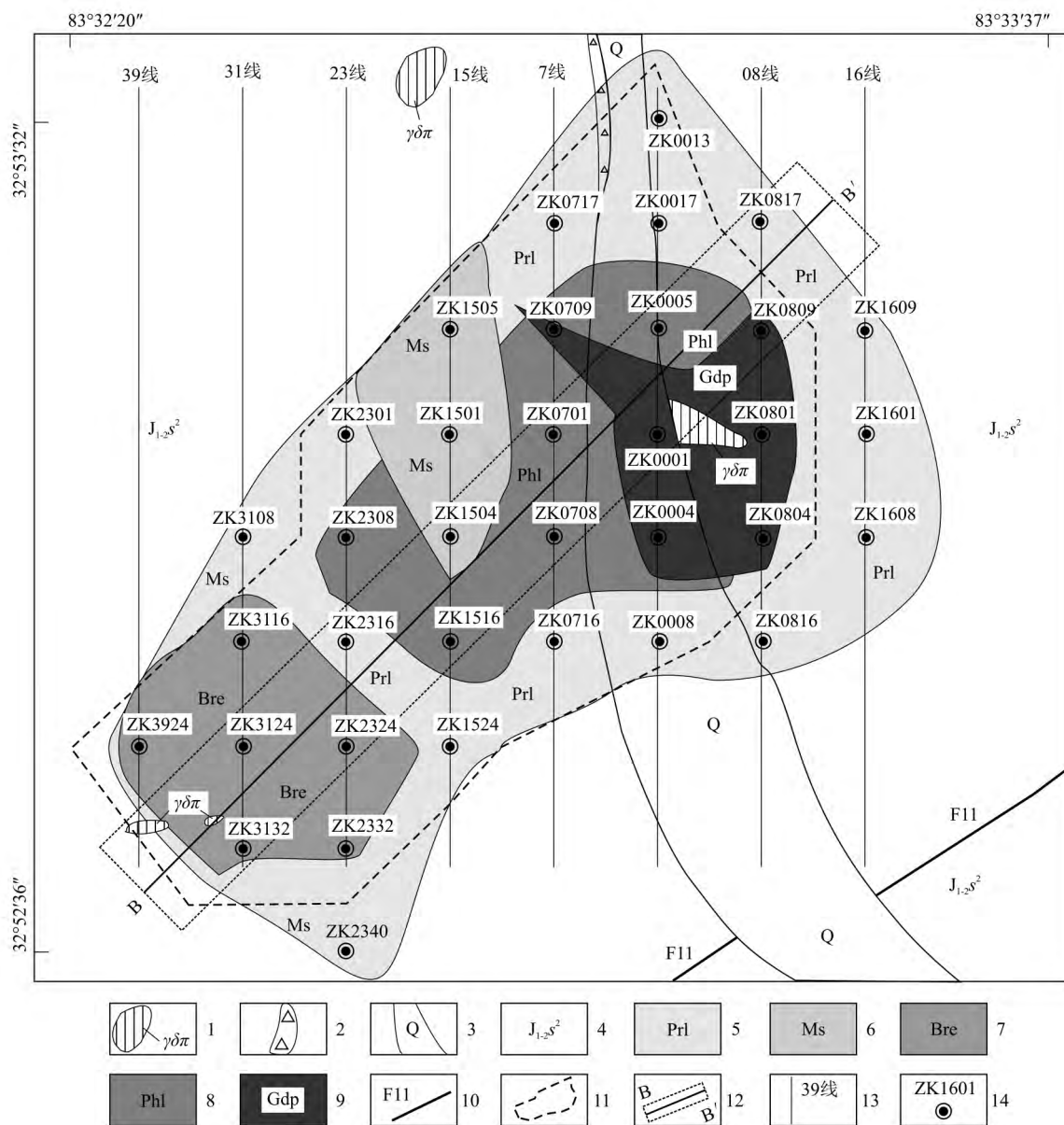


图 4 拿若铜金矿床地质图(据江少卿等 2014 修改)

1—早白垩世花岗闪长斑岩; 2—角岩; 3—第四系残坡积物; 4—下-中侏罗统色哇组二段: 变质石英砂岩、变质(长石)石英砂岩夹深灰色粉砂质板岩; 5—青磐岩化带; 6—泥化带; 7—隐爆角砾岩筒; 8—黄铁绢英岩化带; 9—隐伏花岗闪长斑岩体; 10—断层; 11—Cu 矿体; 12—剖面线; 13—勘探线; 14—钻孔

Fig. 4 Geological map of the Naruo Cu-Au deposit (modified after Jiang et al., 2014)

1—Early Cretaceous granodiorite-porphry; 2—Hornfels; 3—Quaternary eluvial and slope wash material; 4—2nd Member of Lower-Middle Jurassic strata: altered quartz sandstone, altered (feldspathic) quartz sandstone interbedded with dark gray silty slate; 5—Propylitization rock belt; 6—Argillic zone; 7—Cryptoexplosion breccias; 8—Pyrite phyllic zone; 9—Buried granodiorite porphyry; 10—Fault; 11—Cu orebody; 12—Profile; 13—Exploration line; 14—Drill hole

23 线为界, 东侧为较完整的斑岩型铜金矿体, 西侧为具分枝状的隐爆角砾岩型铜金矿体(图 4)。

(1) 斑岩型铜金矿体: 主要分布于 23 线以东, 铜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, 总体为沿花岗闪长斑岩体内外接触带展布的“钟状体”, 矿体较连续, 厚度较大; 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,

自接触带向外,铜品位逐渐下降,黄铁矿逐渐增多,形成环带状低品位铜矿体;自低品位铜矿体再向外,为矿体围岩,厚度可达400 m。

(2) 隐爆角砾岩型矿体:主要分布于23线以西,矿体呈角砾岩筒状分布于矿区的西侧,具分枝状矿体,矿体不连续,且以青磐岩化为主。

赋矿岩石为花岗闪长斑岩、隐爆角砾岩及(角岩化)变质(长石)石英砂岩(图5)。矿石类型以原生矿石为主。斑岩及围岩矿石中的金属矿物组成比较简单。原生矿体金属矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿,以及少量的斑铜矿、辉钼矿、褐铁矿等,呈星点状、团斑状、细脉浸染状等分布;少量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。脉石矿物以石英、石膏、明矾石、绿帘石、绿泥石等为主。围岩蚀变分带完整,自斑岩体中心向外依次为:斑岩体→围岩泥化带→黄铁绢英岩化带→青磐岩化带。以23线为界线,以东为斑岩型铜矿;以西为隐爆角砾岩筒型铜矿。

### 3 矿床模式与勘查实践

#### 3.1 三维地质模型

随着矿业软件的开发,三维建模指导找矿越来越多的应用于局部找矿和深部找矿(李玉彬等,2012;张锦章,2013)。对于已探明的矿床,以实际地质信息为基础,结合钻孔等工程编录信息,利用矿业软件建立三维地质模型,能直观分析矿区地质特征,总结地质规律。从本次研究的2个矿床三维地质模型中可以直观看出:

荣那矿床 地层和岩体从下至上依次为:花岗斑岩→花岗闪长斑岩→安山岩→第四系沉积物,围岩为(角岩化)变质(长石)石英砂岩。斑岩主要有2期:较早的为花岗闪长斑岩,较晚的为花岗斑岩,2期斑岩均呈北西向。花岗斑岩和花岗闪长斑岩与上覆安山岩为不整合接触(图6a)。段志明等(2013)通过SHRIMP锆石 $U_{-}Pb$ 定年获得荣那安山岩年龄为 $(111.1 \pm 1.4)$  Ma,附近多不杂铜矿成矿、成岩年龄118~122 Ma(曲晓明等,2006;李金祥等,2008;余宏全等,2009;祝向平等,2011),因此,荣那矿床上覆安山岩应该晚于斑岩矿床形成。

拿若矿床 地层和岩体从东北至西南依次为:花岗闪长斑岩→安山玢岩→(角岩化)变质(长石)石英砂岩夹安山岩、断续分布的花岗闪长斑岩→隐

爆角砾岩,围岩为(角岩化)变质(长石)石英砂岩。斑岩体及其根部主要位于矿区东北侧(0线至8线),根部以深并未被工程穿透;隐爆角砾岩主要位于矿区西南侧(39线至23线),隐爆角砾岩垂向厚度达528 m,23线西南侧隐爆角砾岩目前工程并未封闭,23线以东已经封闭。东北侧的成矿热液流体在向西南运移的过程中,疑似受到安山玢岩的阻隔,7线以西,铜矿化变差(图6b)。

值得注意的是,西南侧隐爆角砾岩筒与东北侧花岗闪长斑岩体在空间上并不直接接触。但是,23线以西出现隐爆角砾岩的地方也发育有脉状斑岩,钻孔ZK2324的120 m处和ZK3116的100 m处有少量的辉钼矿赋存于脉状斑岩中,且脉状斑岩恰出现于隐爆角砾岩之上,因此,认为隐爆角砾岩和拿若东北侧的斑岩矿化为不同期次的产物。

#### 3.2 三维蚀变模型

对于多数矿床,特别是斑岩型矿床和热液脉型矿床,围岩蚀变是成矿热液运移过程中留下的重要信息,在空间上一般都有分带特征,是重要的找矿标志,成为重要找矿手段之一(Sillitoe,1997;2010;翟裕生,2007;张洪瑞等,2009)。笔者通过野外地质踏勘、钻孔编录、室内镜下鉴定等工作,使用Supac 3.0软件建立了三维蚀变模型。

##### (1) 荣那矿床的围岩蚀变

对矿化较好的2个钻孔ZK1604(表1)和ZK2404(表2),全孔沿进尺垂深方向每隔10 m连续采样,进行镜下岩性、矿物和蚀变特征鉴定(图7)。结果为:①上部青磐岩化带金属矿物主要为黄铜矿、黝铜矿、硫砷铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿、褐铁矿、赤铁矿等;脉石矿物主要为石英、绿泥石、绿帘石、明矾石、玉髓等。②下部黄铁绢英岩化带金属矿物以斑铜矿、黝铜矿、辉铜矿、硫砷铜矿、铜蓝、磁铁矿等为主;脉石矿物主要为石英、绢云母、石膏、绿帘石、绿泥石、明矾石等。③从浅部至深部呈现黄铜矿减少,斑铜矿、辉铜矿增多的趋势。④在ZK2404深部4780 m、4550 m标高仍能观察到褐铁矿化(表2),此处的褐铁矿化位于花岗闪长斑岩顶、底两盘的边部,推测早期形成的深部断裂为花岗闪长斑岩成矿流体运移提供了通道。

依据蚀变矿物组合,荣那矿床可分为黄铁绢英岩化和青磐岩化2个蚀变带(图8a):

黄铁绢英岩化带 金属矿物组合为黄铜矿-辉铜矿-黝铜矿-辉钼矿-磁铁矿-黄铁矿,呈浸染状、团

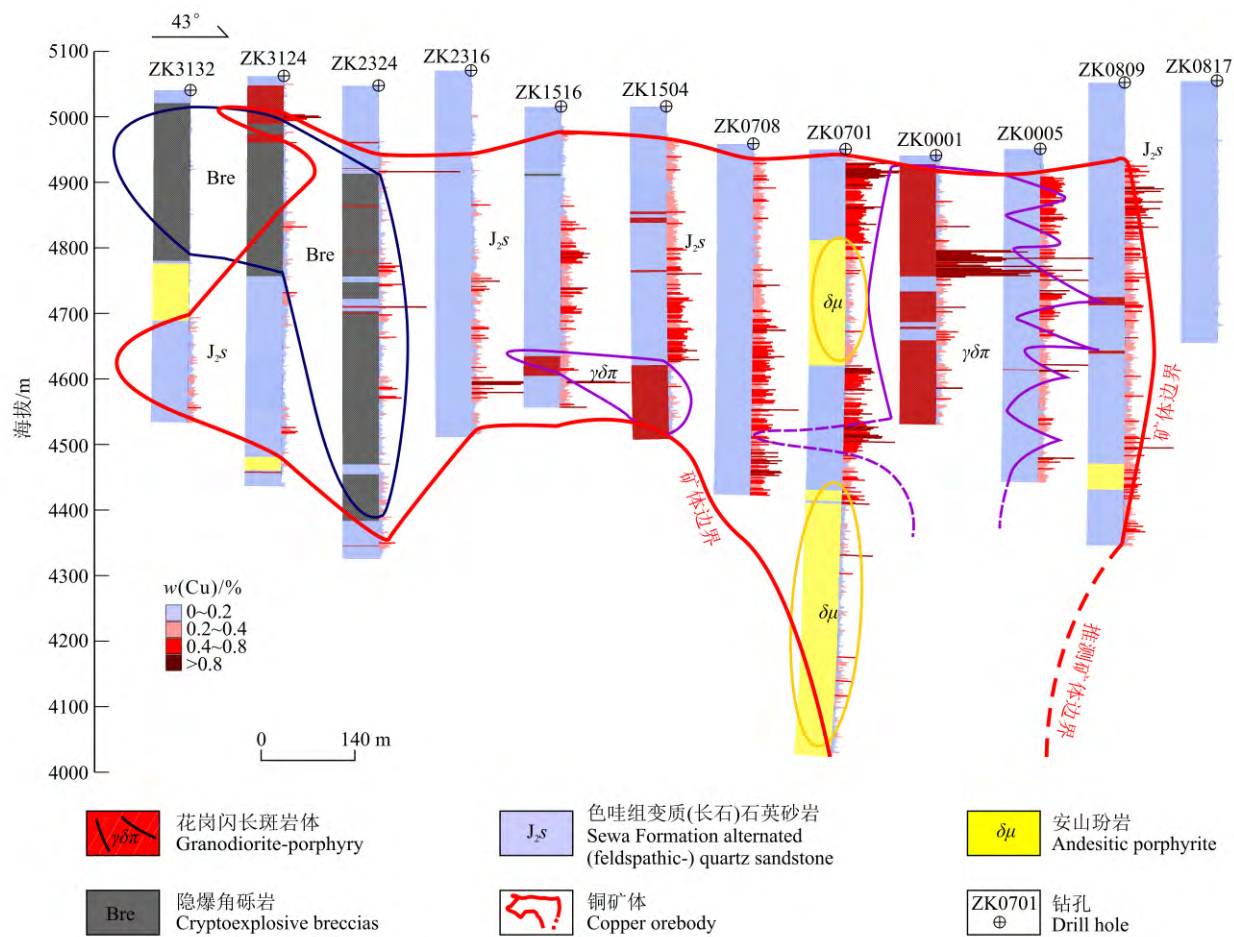


图 5 拿若铜金矿床沿走向 BB' 剖面主要岩体、地层和铜矿体分布剖面图  
Fig. 5 B-B' vertical section in striking direction of the Rongna Cu-Au deposit

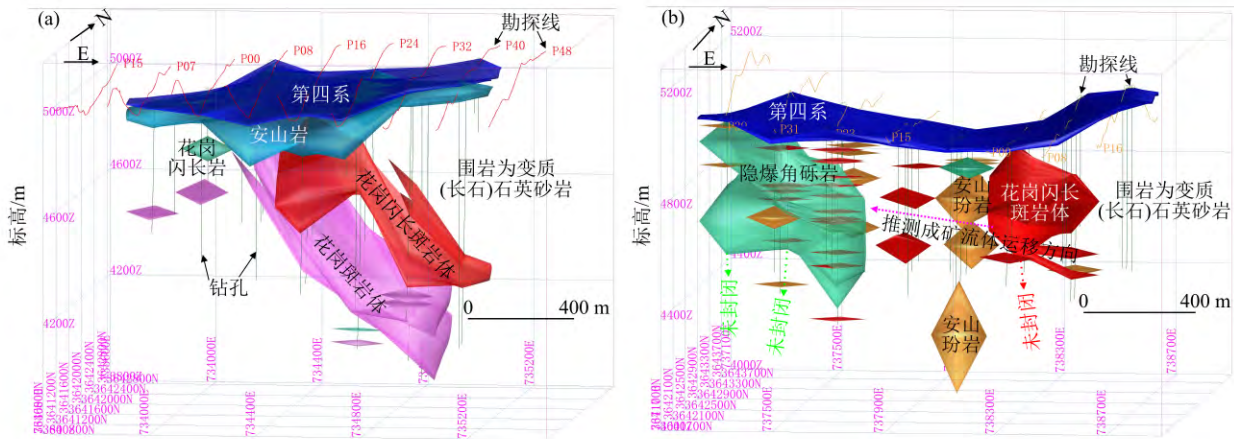


图 6 荣那和拿若铜金矿床三维地质模型  
a. 荣那斑岩体主要为花岗闪长斑岩和花岗岩, 安山岩呈不整合覆盖于岩体上; b. 拿若西南侧主要为隐爆角砾岩, 内部分布脉状斑岩体; 东北侧发育花岗闪长斑岩体; 隐爆角砾岩与斑岩体之间发育安山岩。围岩均为变质(长石)石英砂岩  
Fig. 6 Three-dimensional geological model of Rongna and Naruo Cu-Au deposits  
a. Rongna granodiorite\_porphry and granitic\_porphry ,with andesite unconformably overlying porphyry bodies; b. Cryptoexplosive breccias and porphyry stocks well developed in the southwest portion of Naruo deposit; granitic\_porphry and andesitic porphyrite well developed in the northeast portion. The surrounding rock is altered ( feldspathic) quartz sandstone

表 1 荣那矿床 ZK1604 钻孔岩性、蚀变、矿物和铜品位特征

Table 1 Lithology, alteration, minerals and copper grades of Drill hole ZK1604 in the Rongna deposit

	岩性	蚀变分带	矿石矿物	脉石	铜品位/%
4993	第四系 安山岩	青磐岩化带	Lm+Hm	Si+Chl	
	花岗闪长斑岩		Py+Mt+少量Mol		
			Py+Cv+Dg+Mt+少量Mol		
4800	变质(长石)石英砂岩 花岗闪长斑岩		Py+Cv+Po+Mt		
			Py+Cp+Tt+Cc		
	变质(长石)石英砂岩		Py+Bn+Tt+Cv+少量Po		
4600	隐爆角砾岩	黄铁绢英岩化带	Py+Bn+Tt	Si+Cb+少量Gy	
	变质(长石)石英砂岩		Py+Bn+Tt+Cv		
			Py+Bn+Tt		
4400	花岗闪长斑岩		Py+Cc+Tt+少量Mt	Si+少量Gy	
	变质(长石)石英砂岩		Py+Cc+Cv+Mt		
4279					

注: Mt—磁铁矿; Hm—赤铁矿; Lm—褐铁矿化; Po—磁黄铁矿; Cp—黄铜矿; Cc—辉铜矿; Bn—斑铜矿; Tt—黝铜矿; Dg—蓝辉铜矿; Cv—铜蓝; Mol—辉钼矿; Cb—碳酸盐化; Chl—绿泥石化; Gy—石膏; Py—黄铁矿; Si—硅化

斑状、网脉状分布。矿体距地表 400 m 以浅,金属矿物以黄铁矿、黄铜矿等为主;400 m 以深,金属矿物以辉铜矿、斑铜矿、黝铜矿为主。两次斑岩的叠加导致地表 400 m 以深矿化叠加,铜品位升高。工业矿体多集中分布在该蚀变带内。辉钼矿在该带深部出现,钻孔 ZK4004 的 570 m、ZK3205 的 1010 m、ZK3204 的 660 m、ZK2405 的 600 m 垂深位置均可见辉钼矿。

**青磐岩化带** 矿区范围内青磐岩化带仅在矿区的西侧有少量分布。主要为绿泥石、绿帘石、石英、方解石和黄铁矿等矿物。

蚀变与矿化呈以下对应关系: (a) 黄铁绢英岩化: 辉铜矿、斑铜矿、黝铜矿、黄铜矿、黄铁矿等团块状、浸染状矿化; (b) 青磐岩化: 黄铁矿、黄铜矿浸染状(细脉状)矿化。目前工程控制深度范围内仍未发

现钾化带。泥化不太发育。从矿化与蚀变组合及矿体与蚀变带空间分布的关系来看,荣那铜矿区的黄铁绢英岩化蚀变期是最重要的成矿时期。

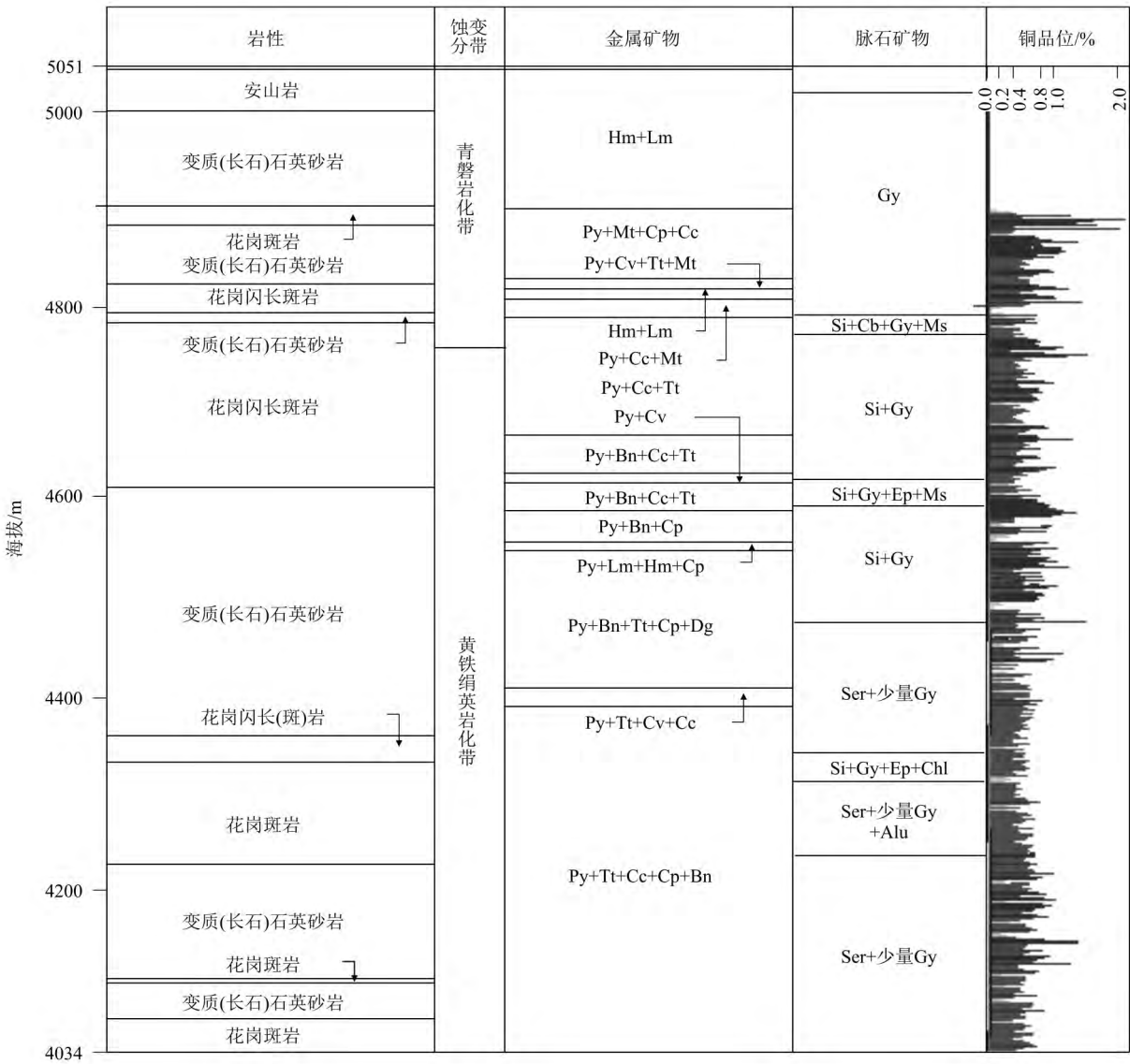
## (2) 拿若矿床的围岩蚀变

以黄铁绢英岩化、泥化、青磐岩化为主要特征,其次有角岩化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化发育。具有斑岩矿床的蚀变分带特征,自斑岩体→泥化带→黄铁绢英岩化带→青磐岩化带(图 8b)。高品位矿化主要集中在黄铁绢英岩化带。

**黄铁绢英岩化带** 金属矿物组合为黄铜矿\_辉铜矿\_黝铜矿\_辉钼矿\_磁铁矿\_黄铁矿。黄铜矿、辉铜矿等呈浸染状、团斑状、网脉状分布。目前工业矿体多集中分布在该蚀变带内。辉钼矿在该带深部出现,钻孔 ZK0809 的 130~330 m、ZK0804 的 50~260 m、ZK0005 的 90~490 m、ZK0708 的 340 m、ZK1501

表 2 荣那铜金矿床 ZK2404 钻孔岩性、蚀变分带、矿物和铜品位特征

Table 2 Lithology , alteration , minerals and copper grades of Drill hole ZK1604 in the Rongna Cu\_Au deposit



注: Mt—磁铁矿; Hm—赤铁矿; Lm—褐铁矿化; Po—磁黄铁矿; Py—黄铁矿; Cp—黄铜矿; Cc—辉铜矿; Bn—斑铜矿; Tt—黝铜矿; Dg—蓝辉铜矿; Cv—铜蓝; Cb—碳酸盐化; Chl—绿泥石化; Gy—石膏; Alu—明矾石; Ep—绿帘石化; Ms—泥化; Si—硅化; Ser—绢云母化

的 380 m、ZK1504 的 430 m、ZK2324 的 120 m、ZK3116 的 100 m 垂深处均见少量的辉钼矿;辉钼矿出现的位置与黄铁绢英岩化带和斑岩体出现的位置吻合较好。

泥化带 蚀变矿物为黏土矿物、黄铁矿、绢云母、石英,以长石矿物黏土化和糖粒状石英及少量的梳状石英脉为特征。该带主要分布于 15 线与 0 线之间,多叠加在黄铁绢英岩化蚀变带上,并沿构造破碎带或在岩石破碎带分布。泥化带金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、铜蓝、孔雀石、辉铜矿,黄铜矿与

黄铁矿呈星点状分布,辉钼矿呈斑点集合状分布于梳状石英脉中。该带内矿化较弱。

青磐岩化带 矿区 15 线以西均为青磐岩化带,蚀变矿物为绿泥石、黄铁矿、绿帘石、方解石等碳酸盐矿物,多分布于上述蚀变带外围的变质(长石)石英砂岩中。矿化较弱,局部可见零星的黄铜矿与黄铁矿化。

根据各蚀变带矿物组合及其空间分布,从早到晚依次形成斑岩体、泥化带、黄铁绢英岩化带、青磐岩化蚀变带,晚期蚀变可以叠加在早期蚀变带上。与

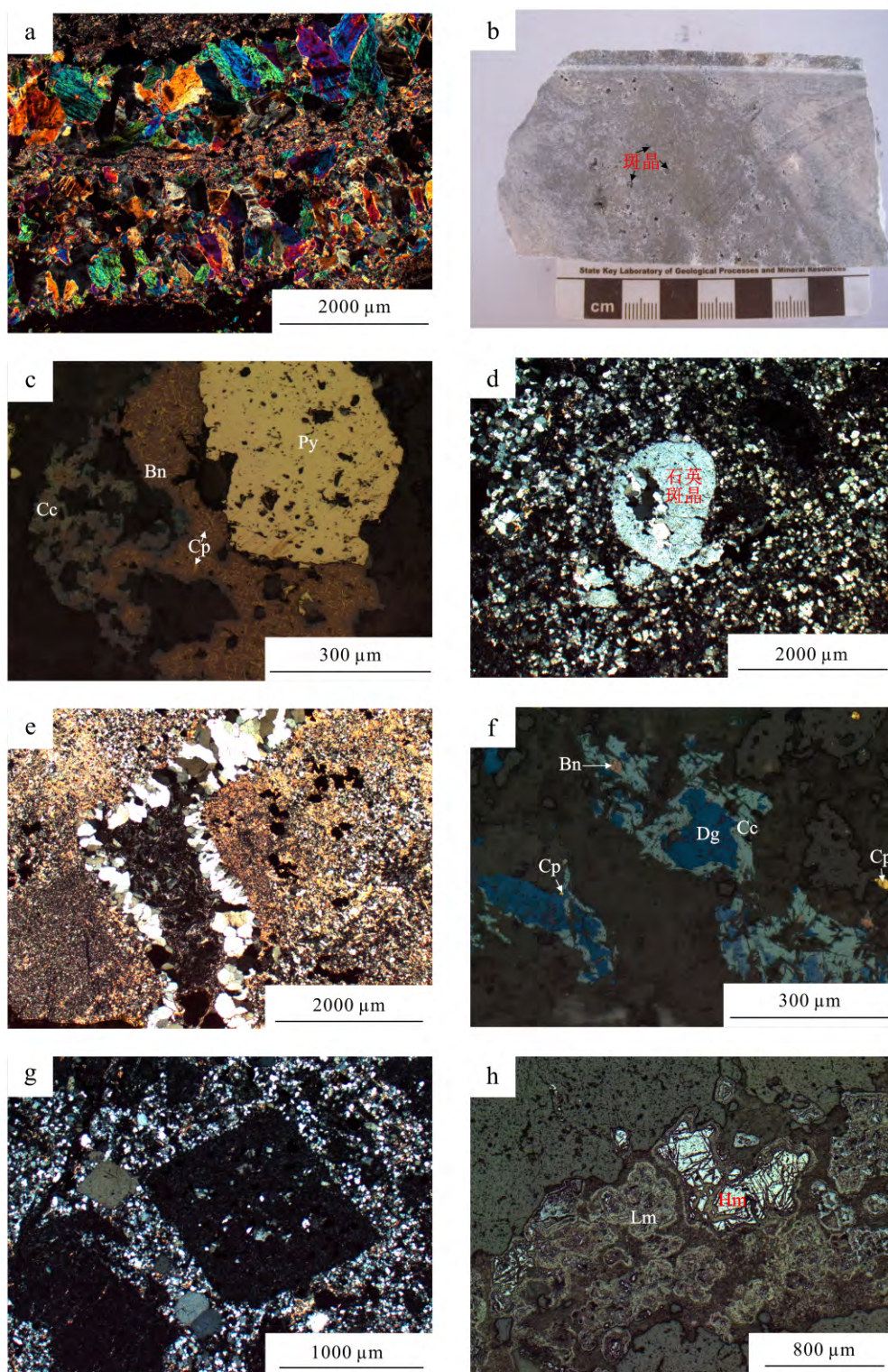


图7 荣那铜金矿床手标本和显微镜下照片

a. ZK1604 进尺 210 m 处花岗闪长斑岩中穿插的闪长岩脉, 正交镜下; b. ZK1604 进尺 240 m 处花岗闪长斑岩中的斑晶, 手标本; c. ZK1604 进尺 310 m 处铜矿化中的斑铜矿、(豹纹状) 黄铜矿、辉铜矿以及黄铁矿, 反光镜下; d. ZK1604 进尺 620 m 处花岗斑岩中的石英斑晶, 正交镜下; e. ZK1604 进尺 620 m 处花岗斑岩中发育的 UST 石英, 正交镜下; f. ZK1604 进尺 700 m 处铜矿化中的蓝辉铜矿、辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿, 反光镜下; g. ZK2404 进尺 430 m 处花岗闪长斑岩中长石蚀变斑晶, 正交镜下; h. ZK2404 进尺 500 m 处花岗闪长斑岩底板

边部裂隙中发育的赤铁矿和褐铁矿化, 反光镜下

Hm—赤铁矿; Lm—褐铁矿化; Cp—黄铜矿; Cc—辉铜矿; Bn—斑铜矿; Dg—蓝辉铜矿; Py—黄铁矿

Fig. 7 Rock samples and their microscopic photos of the Rongna Cu-Au deposit

a. Diorite veins penetrating granodiorite porphyry at 210 m depth of ZK1604, crossed nicols; b. Granodiorite porphyry phenocrysts at 240 m depth of ZK1604, drill core specimens; c. Bornite, (leopard-like) chalcocite and pyrite at 310 m depth of ZK1604, reflective microscope; d. Quartz phenocrysts within granite porphyry at 620 m depth of ZK1604, crossed nicols; e. UST quartz developed in granite porphyry at 620 m depth of ZK1604, crossed nicols; f. Digenite, chalcocite, bornite, chalcopyrite at 700 m depth of ZK1604, reflective microscope; g. altered feldspar phenocrysts within granodiorite porphyry at 430 m depth of ZK2404, crossed nicols; h. Hematite and limonite occurring in fissures on the footwall of granodiorite porphyry at 500 m depth of ZK2404, reflective microscope

Hm—Hematite; Lm—Limonite; Cp—Chalcopyrite; Cc—Chalcocite; Bn—Bornite; Dg—Digenite; Py—Pyrite

荣那矿床不同的是,该矿床发育泥化。蚀变与矿化有下列基本对应关系:(a)黄铁绢英岩化:早期黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等,呈浸染状、团斑状、细脉状矿化;(b)泥化:黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、铜蓝、孔雀石、辉铜矿等,呈浸染状矿化;(c)青磐岩化:黄铁矿、黄铜矿等,呈浸染状(细脉状)矿化。从矿化与蚀变组合及矿体与蚀变带空间分布关系来看,黄铁绢英岩化蚀变期是最重要的成矿时期,稍晚的青磐岩化蚀变次之。

### 3.3 矿体三维模型与找矿

对于大部分斑岩型矿床,地形与地表特征、蚀变分带、成矿模式具有一定的相似性(Sillitoe, 1972; 陈毓川等, 1993; 翟裕生, 2001), 因此具有成矿专属性(Sillitoe, 1997; Richards et al., 2001; Cooke et al., 2005; Laznicka, 2006; 秦克章等, 2006; 莫宣学, 2010)。通过成矿专属性可以建立斑岩型矿床的地质和蚀变三维空间模型, 结合钻孔化验数据建立矿体三维模型。通过建立荣那和拿若铜金矿床的矿体三维模型(图9), 结合物、化探手段, 直观分析矿体的空间分布规律, 可进一步指导边部、深部、外围的找矿工作, 确定找矿潜力。

(1) 荣那矿床: 矿体边部, 目前工程揭露矿体东部蚀变带仍主要为黄铁绢英岩化, 矿体40线往东、12排往南, 黄铁绢英岩化蚀变仍然强烈; 矿体深部, 16线以东钻孔终孔时, 基本都停留在矿化部位, 且仍为强烈黄铁绢英岩化蚀变带, 钾化蚀变仍未揭露, 因此, 16线至40线范围内, 矿体应有一定的延深。从目前工程控制情况看, 矿区40线往东和12排往南的外围以及24线以东的深部, 仍有找矿潜力(图2、图9a)。

(2) 拿若矿床: 矿体边部, 31线以东的矿体边部均已经被工程控制, 31线往西南向的ZK3924和ZK3132钻孔仍有铜、金矿化, 且发育少量黄铁绢英岩化, 因此31线西南向的矿体仍未被工程控制; 矿体深部, 4500 m中段以深, 矿化均减弱或消失, 深部

矿体已经基本得到控制。结合目前工程控制情况, 推测矿区的西南方向仍有一定的找矿潜力(图9b)。

### 3.4 找矿工作经验

传统方法往往是先找矿, 取得实验室分析结果后, 再总结矿床地质特征, 完成资源量估算, 往往造成找矿与获得资源量结果之间的时间很长, 难以及时掌握资源情况, 从而推迟了找矿工程的布设。与此不同, 中铝矿产资源有限公司在找矿勘查中积累了丰富的经验, 能够及时对工程数据进行建模, 实时跟踪工程的三维布设情况, 同步估计见矿工程的样品品位, 立即形成初步地质、蚀变和矿体模型, 获得初步资源量结果, 该结果与实验室分析估算的资源量结果基本接近。这种方法在矿床勘查过程中, 能动态地掌握资源情况, 指导进一步找矿, 迅速取得找矿突破。

## 4 结 论

(1) 荣那矿床为斑岩-浅成低温热液系统, 黄铁绢英岩化带构成主要矿化蚀变带; 拿若矿床为斑岩-隐爆角砾岩系统, 矿区东北侧以黄铁绢英岩化蚀变带发育的斑岩型为主, 西南侧以青磐岩化蚀变带发育的隐爆角砾岩型为主。

(2) 完善了铁格隆矿田的矿床模式, 提高了找矿效率, 地质找矿取得重大成果, 在16.5 km<sup>2</sup>的范围内, 新增铜的金属量640.27万吨, 新增伴生金的金属量136.14吨, 新增伴生银的金属量1780.09吨, 探明超大型铜金矿床2处。

(3) 结合地质、物探、化探数据, 应用矿业软件, 识别出蚀变矿物, 建立的三维蚀变找矿模型, 在找矿勘查中可发挥有效直观的重要作用。

志 谢 感谢汪东波、董方浏研究员及栗登逵、侯俊富高工在室内研究以及野外工作中给予的指导。

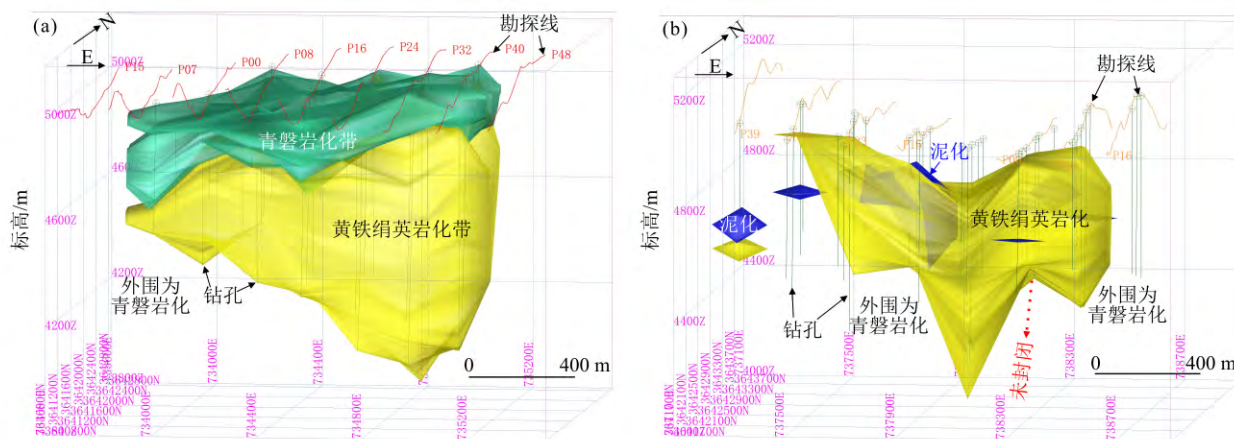


图 8 荣那和拿若铜金矿床三维蚀变带

a. 荣那矿床的蚀变主要为黄铁绢英岩化, 其次为青磐岩化; b. 拿若矿床的蚀变主要为黄铁绢英岩化, 其次为青磐岩化, 少量的泥化

Fig. 8 Three-dimensional alteration belts of Rongna and Naruo Cu-Au deposits

a. Alteration belts of Rongna dominated by pyrite phyllic zones, followed by propylitization zones; b. Alteration belts of Naruo dominated by pyrite phyllic zones, followed by propylitization zones, with minor argillic zones

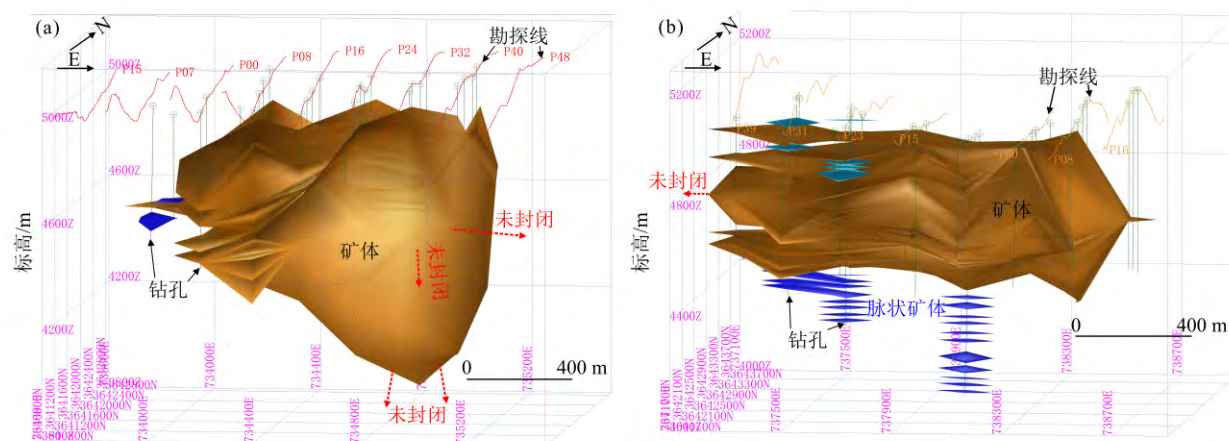


图 9 荣那和拿若铜金矿床矿体三维空间分布(铜边界品位 0.2%)

a. 荣那矿体主要为块状厚大矿体, 往东、往南以及深部均未封闭; b. 拿若西南侧矿体分枝多, 不连续; 东北侧为块状厚大矿体, 往西南向仍未封闭

Fig. 9 Three-dimensional orebody models of Rongna and Naruo Cu-Au deposits (with Cu 0.2% cutoff)

a. Orebody of Rongna characterized by a thick intact block, which is open not only in east and south directions but also in the depth; b. Orebodies characterized by noncontinuous branches in the southwestern part of Naruo; orebody as an intact thick block in the northeastern part of Naruo. The orebodies of Naruo are still open in southwestern direction

## References

- Cao S H, Deng S Q, Xiao Z J and Liao L G. 2006. 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, 26 (4): 25\_32 (in Chinese with English abstract).
- Chen H Q, Li Y B and Li Y B. 2011. Geological exploration report of Naruo deposit in 2011 [R]. Golmud: 5th Batch Team of Tibet Geological Exploration Bureau. Unpublished report. 36p (in Chinese).
- Chen Y C and Zhu Y S. 1993. Deposit model of China [M]. Beijing: Geological Publishing House. 268p (in Chinese).
- Cooke D, Hollings P and Walsh J L. 2005. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Econ.

- Geol. , 100( 5) : 801\_818.
- Dai J J , Qu X M and Xin H B. 2010. Extraction of alteration mineral in-formation using ASTER remote sensing data in Duolong area , Tibet , China[J]. Geological Bulletin of China , 29( 5) : 752\_757 ( in Chi-nese with English abstract) .
- Duan Z M , Li G M , Zhang H and Duan Y Y. 2013. The formation and its geologic significance of Late Triassic\_Jurassic accretionary comple-xes and constraints on metaUogenic and geological settings in Duolong porphyry copper gold ore concentration area , northern Bangong Co\_Nuijiang suture zone , Tibet[J]. Geological Bulletin of China , 32( 5) : 742\_750 ( in Chinese with English abstract) .
- Geng Q R , Sun Z M , Pan G T , Zhu D C and Wang L Q. 2009. Origin of the Gangdise ( Transhimalaya) Permian arc in southern Tibet: Strati-graphic and volcanic geochemical constraints [J]. Island Arc , 18( 3) : 467\_481.
- Geng Q R , Pan G T , Wang L Q , Peng Z M and Zhang Z. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co\_Nuijiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. Geological Bulle-tin of China , 30( 8) : 1261\_1274 ( in Chinese with English ab-stract) .
- Geng Q R , Peng Z M and Zhang Z. 2012. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co\_Nuijiang Belt and the Qiangtang massif in Tibet[M]. Beijing: Geological Publish-ing House. 46p ( in Chinese) .
- Jiang S Q , Sun X G , Yang T Z , Li L , Yin X B , Wang C and Pan Y B. 2014. Integrated anomaly model and metallogenic prediction of the Duolong porphyry copper\_gold ore concentration area in northern Ti-bet[J]. Geology in China , 41( 2) : 497\_509 ( in Chinese with Eng-lish abstract) .
- Kapp P , Murphy M A and Harrison T M. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet[J]. Tecton-ics , 22( 4) : 313\_323.
- Laznicka P. 2006. Giant metallic deposits , future sources of industrial metals[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. 152p.
- Li G M , Li J X , Qin K Z , Zhang T P and Xiao B. 2007. High tempera-ture , salinity and strong oxidation re\_forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt , Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. Acta Petrologica Sinica , 23( 5) : 935\_952 ( in Chinese with English abstract) .
- Li G M , Li J X , Qin K Z , Duo J , Zhang T P , Xiao B and Zhao J X. 2012. Geology and hydrothermal alteration of the Duobuza gold-rich porphyry copper district in the Bangongco metallogenetic belt , north-western Tibet[J]. Resource Geology , 62( 1) : 99\_118.
- Li J X , Li G M , Qin K Z and Xiao B. 2008. 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 , 24( 3) : 531\_543 ( in Chinese with English abstract) .
- Li J X , Qin K Z , Li G M , Xiao B , Zhao J X and Chen L. 2011. Mag-matic\_hydrothermal evolution of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco metallogenetic belt , Tibet: Evidence from U\_Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology[J]. Journal of A-sian Earth Sciences. 41( 6) : 525\_536.
- Li J X , Li G M , Qin K Z , Xiao B , Chen L and Zhao J X. 2012. Mineralogy and mineral chemistry of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco arc , northern Tibet [J]. Resource Geology , 62( 1) : 19\_41.
- Li Y B , Duo J , Zhong W T , Li Y C , Qiangba W D , Chen H Q , Liu H F , Zhang J S , Zhang T P , Xu Z Z , Fan A H and Suolang W X. 2012. An exploration model of the Duobuza porphyry Cu\_Au deposit in Gaize country , Northern Tibet [J]. Geology and Exploration , 48( 2) : 274\_287 ( in Chinese with English abstract) .
- Mo X X. 2010. A review and prospect of geological researches on the Qinghai\_Tibet Plateau[J]. Geology in China , 37( 4) : 841\_853 ( in Chinese with English abstract) .
- Qin K Z , Li G M , Zhang Q , Li J X , Miu Y , Xiao B , Zhang T P , Duo J , Li J G and Lu Y. 2006. Metallgenetic factors of epithermal Au\_Ag deposits in Tibet and its bearing area\_In perspective of metallgenetic system of epithermal Cu\_Au deposits[A]. Chen Y C , Mao J W , Xue C J , eds. Proceedings of the 8th national deposit conference [C]. Beijing: Geological Publishing House. 666p ( in Chinese) .
- Qu X M and Xin H B. 2006. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet , China [J]. Geo-logical Bulletin of China , 25( 4) : 792\_799 ( in Chinese with English abstract) .
- Qu X M , Xin H B , Du D D and Chen H. 2013. Magma source of the A\_type granite and slab break\_off in the middle segment of the Bangon-ghu\_Nuijiang suture , Tibet plateau [J]. Acta Geologica Sinica , 87( 6) : 759\_772 ( in Chinese with English abstract) .
- Richards J P , Boyce A J and Pringle M S. 2001. Geologic evolution of the

- Escondida area , northern Chile: A model for spatial and temporal location of porphyry Cu mineralization[J]. *Econ. Geol.* ,96( 2) : 271\_305.
- She H Q , Li J W , Feng C Y , Ma D F , Pan G T and Li G M. 2006. The high-temperature and hypersaline fluid inclusions and its implications to the metallogenesis in Duobuza porphyry copper deposit , Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica* ,80( 9) : 1435\_1447 ( in Chinese with English abstract) .
- She H Q , Li J W , Ma D F , Li G M , Zhang D Q , Feng C Y , Qu W J and Pan G T. 2009. Molybdenite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications[J]. *Mineral Deposits* ,28( 6) : 737\_746 ( in Chinese with English abstract) .
- Shi R D , Yang J S , Xu Z Q and Qi X X. 2008. 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* , 32( 5\_6) : 438\_457.
- Sillitoe R H. 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits[J]. *Econ. Geol.* ,67\_184.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper gold and epithermal gold deposits in the circum Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences* ,44: 373\_388.
- Sillitoe R H. 2010. Porphyry copper systems [J]. *Econ. Geol.* , 105 ( 1) : 3\_41.
- Su D K , Hou J F and Sun X G. 2013. Geological exploration report of Naruo deposit in 2013 [R]. Lhasa: 5th Batch Team of Tibet Geological Exploration Bureau. Chinalco Tibet Mining Company. Unpublished Report. 54p ( in Chinese) .
- Tang J X , Sun X G , Ding S , Wang Q , Wang Y Y , Yang C , Chen H Q , Li Y B , Li Y B , Wei L J , Zhang Z , Song J L , Yang H H , Duan J L , Gao K , Fang X and Tan J Y. 2014. Discovery of the epithermal deposit of Cu ( Au-Ag) in the Duolong ore concentrating area , Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica* ,35( 1) : 6\_10 ( in Chinese with English abstract) .
- Wu D X , Zhao Y Y , Liu C Q , Xu H , Li Y C , Li Y B and Lei X G. 2012. Geochemical indicators of porphyry copper deposits in the Dobzha ore concentration area , Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica* , 33( 2) : 185\_196 ( in Chinese with English abstract) .
- Xin H B , Qu X M , Wang R J , Liu H F , Zhao Y Y and Huang W. 2009. Geochemistry and Pb , Sr , Nd isotopic features of ore-bearing porphyries in Bangong Lake porphyry copper belt , western Tibet [J]. *Mineral Deposits* ,28( 6) : 785\_792 ( in Chinese with English abstract) .
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* ,28 ( 1) : 211\_280.
- Zhai Y S. 2001. Mineral deposit geology towards the 21st century [J]. *Mineral Deposits* ,20( 1) : 10\_14 ( in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S. 2007. Earth system , metallogenic system to exploration system [J]. *Earth Science Frontiers* ,14( 1) : 172\_178 ( in Chinese with English abstract) .
- Zhang H R , Hou Z Q , Song Y C , Li Z , Yang Z M , Wang S L , Wang X H and Wang S X. 2009. The temporal and spatial distribution of porphyry copper deposits in the eastern Tethyan metallogenic domain: A review [J]. *Acta Geologica Sinica* ,83( 2) : 1818\_1837 ( in Chinese with English abstract) .
- Zhang J Z. 2013. Geology , exploration model and practice of Zijinshan ore concentrated area [J]. *Mineral Deposits* . 32( 4) : 757\_766 ( in Chinese with English abstract) .
- Zhu X P , Chen H A , Ma D F , Huang H X , Li G M , Li Y B and Li Y C. 2011. Re-Os dating for the molybdenite from Bolong porphyry copper-gold deposit in Tibet , China and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica* ,27( 7) : 2159\_2164 ( in Chinese with English abstract) .

#### 附中文参考文献

- 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 廖六根. 2006. 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.
- 陈红旗, 李彦波, 李玉彬. 2011. 西藏拿若 2011 年度普查报告 [R]. 格尔木: 西藏地勘局地质五队. 内部报告. 36 页.
- 陈毓川, 朱裕生. 1993. 中国矿床成矿模式 [M]. 北京: 地质出版社. 268 页.
- 代晶晶, 曲晓明, 辛洪波. 2010. 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* ,29( 5) : 752\_757.
- 段志明, 李光明, 张晖, 段瑶瑶. 2013. 西藏班公湖-怒江缝合带北缘多龙矿集区晚三叠世—侏罗纪增生杂岩结构及其对成矿地质背景的约束 [J]. *地质通报* ,32( 5) : 742\_750.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 彭智敏, 张璋. 2011. 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, 30(8): 1261\_1274.
- 耿全如, 彭智敏, 张璋. 2012. 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. 46 页.
- 江少卿, 孙兴国, 杨铁铮, 李丽, 印贤波, 王策, 潘燕兵. 2014. 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, 41(2): 497\_509.
- 李光明, 李金祥, 秦克章, 张天平, 肖波. 2007. 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, 23(5): 935\_952.
- 李金祥, 李光明, 秦克章, 肖波. 2008. 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, 24(3): 531\_543.
- 李玉彬, 多吉, 钟婉婷, 李玉昌, 强巴旺堆, 陈红旗, 刘鸿飞, 张金树, 张天平, 徐志忠, 范安辉, 索朗旺钦. 2012. 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, 48(2): 274\_287.
- 莫宣学. 2010. 青藏高原地质研究的回顾与展望[J]. 中国地质, 37(4): 841\_853.
- 秦克章, 李光明, 张旗, 李金祥, 缪宇, 肖波, 张天平, 多吉, 李金高, 陆彦. 2006. 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[A]. 陈毓川, 毛景文, 薛春纪, 主编. 第八届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 666 页.
- 曲晓明, 辛洪波. 2006. 藏西班牙湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境[J]. 地质通报, 25(4): 792\_799.
- 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 陈华. 2013. 西藏班公湖\_怒江缝合带中段 A 型花岗岩的岩浆源区与板片断离[J]. 地质学报, 87(6): 759\_772.
- 余宏全, 李进文, 丰成友, 马东方, 潘桂棠, 李光明. 2006. 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, 80(9): 1435\_1447.
- 余宏全, 李进文, 马东方, 李光明, 张德全, 丰成友, 屈文俊, 潘桂棠. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿  $\text{Re-Os}$  和铅石  $\text{U-Pb}$  SHRIMP 测年及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 737\_746.
- 栗登达, 侯俊福, 孙兴国. 2013. 西藏拿若 2013 年度详查报告[R]. 拉萨: 中铝西藏矿业有限公司. 内部报告. 54 页.
- 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 王勤, 王艺云, 杨超, 陈红旗, 李彦波, 李玉彬, 卫鲁杰, 张志, 宋俊龙, 杨欢欢, 段吉琳, 高轲, 方向, 谭江云. 2014. 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, 35(1): 6\_10.
- 吴德新, 赵元艺, 刘朝强, 许虹, 李玉昌, 李玉彬, 雷晓光. 2012. 西藏多不杂矿集区斑岩铜矿地球化学指针研究[J]. 地球学报, 33(2): 185\_196.
- 辛洪波, 曲晓明, 王瑞江, 刘鸿飞, 赵元艺, 黄玮. 2009. 藏西班牙湖斑岩铜矿带成矿斑岩地球化学及  $\text{Pb}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Nd}$  同位素特征[J]. 矿床地质, 28(6): 785\_792.
- 翟裕生. 2001. 走向 21 世纪的矿床学[J]. 矿床地质, 20(1): 10\_14.
- 翟裕生. 2007. 地球系统、成矿系统到勘查系统[J]. 地学前缘, 14(1): 172\_178.
- 张洪瑞, 侯增谦, 宋玉财, 李政, 杨志明, 王召林, 王晓虎, 王淑贤. 2009. 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, 83(2): 1818\_1837.
- 张锦章. 2013. 紫金山矿集区地质特征、矿床模型与勘查实践[J]. 矿床地质, 32(4): 757\_766.
- 祝向平, 陈华安, 马东方, 黄瀚霄, 李光明, 李玉彬, 李玉昌. 2011. 西藏波龙斑岩铜金矿床的  $\text{Re-Os}$  同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 27(7): 2159\_2164.