

# 西藏冈底斯甲马和南木矿床流体包裹体 SR-XRF 研究

连 玉<sup>1</sup>, 徐文艺<sup>1</sup>, 杨 丹<sup>1</sup>, 陈伟十<sup>1</sup>, 曲晓明<sup>1</sup>, 陈栋梁<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;  
2. 中国科学院 高能物理研究所 同步辐射实验室, 北京 100039)

**摘 要:** 对西藏冈底斯铜多金属成矿带中甲马和南木矿床的流体包裹体开展了系统的同步辐射 X 射线荧光(SR-XRF) 激光原位无损分析, 结果显示: 甲马矿床流体包裹体中高 Cr、Pb, 低 Ni、Fe, 且存在高于地壳丰度的 Pt、Ir 含量异常, 南木矿床流体包裹体中高 Cr、Cu、Pb, 低 Ni、Fe、Zn, 晚期有 Au 富集, Cu 倾向于在高盐度流体中富集。甲马和南木两矿床成矿流体中元素的原始地幔标准化模式与两矿区的成矿斑岩大体类似, 显示出两矿床与区内斑岩在物质来源上具有亲缘性, 幔源和壳源物质共同参与了成矿。但 Cr 含量的差异也显示出, 尽管成矿流体与斑岩岩浆可能都起源于深部, 但二者在演化上是平行的。对于甲马矿床的成因, 流体包裹体 SR-XRF 原位组成分析以及显微测温结果不支持喷流沉积成因观点。

**关键词:** 流体包裹体; 同步辐射 X 射线荧光激光分析; 甲马矿床; 南木矿床; 冈底斯

中图分类号: P618.41; P618.65; O657

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)03-0185-14

## SR-XRF studies of fluid inclusions from the Jiama and Nanmu deposits in the Gangdise copper-polymetallic metallogenic belt of Tibet

LIAN Yu<sup>1</sup>, XU Wen-yi<sup>1</sup>, YANG Dan<sup>1</sup>, CHEN Wei-shi<sup>1</sup>, QU Xiao-ming<sup>1</sup> and CHEN Dong-liang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, MLR, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Laboratory of SR-XRF, Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

**Abstract:** SR-XRF microprobe was used to measure elements in fluid inclusions hosted by quartz associated intimately with Cu mineralization of the Jiama and Nanmu deposits in the Gangdise copper-polymetallic metallogenic belt of Tibet. Analyses show that fluid inclusions from Jiama are rich in Cr and Pb but poor in Fe and Ni. In addition, fluid inclusions from Jiama show Pt and Ir anomalies, with the Pt and Ir concentrations higher than those of the continental crust. Fluid inclusions from Nanmu are rich in Cr, Cu and Pb but poor in Fe, Zn and Ni. In the Nanmu deposit, copper concentrations in highly saline fluid inclusions are by far higher than those in low salinity fluid inclusions and vapor inclusions, suggesting that copper selectively entered saline fluids. SR-XRF microanalysis also reveals that gold was concentrated in late-stage ore-forming fluids. Primitive mantle normalized patterns of the first transitional metal elements in fluid inclusions from Jiama and Nanmu are generally similar to those of mineralizing intrusives in the corresponding areas. These features imply that ore-forming fluids and mineralizing porphyries have similar material resources in Jiama and Nanmu districts. Both mantle-derived and crust-derived materials contributed to mineralization. However, the ore-forming fluids did not originate from porphyries but evolved parallel to porphyries. SR-XRF microanalysis results of fluid inclusions fail to support submarine exhalation origin of the Jiama deposit.

**Key words:** fluid inclusion; SR-XRF; Jiama deposit; Nanmu deposit; Gangdise

收稿日期: 2008-03-06; 修订日期: 2008-03-20

基金项目: 科技部“973”计划资助项目(2002CB412605), 国家自然科学基金资助项目(40303008), 北京正负电子对撞机国家实验室开放课题

作者简介: 连 玉(1981-), 女, 汉族, 地球化学专业在读硕士研究生, 通讯作者, E-mail: xu-wenyi@163.com

西藏冈底斯成矿带位于印度-亚洲大陆碰撞造山带,是我国目前最具资源潜力的铜多金属成矿带,发育了众多斑岩和矽卡岩型铜矿床,如驱龙、南木、冲江、厅官、甲马、拉抗俄等(图1)。对于产于活动陆缘俯冲环境中的斑岩铜矿,其形成机制和成矿地球动力学过程已相对清晰;而产于陆内环境中的斑岩铜矿的成矿地球动力学机制目前还知之不多,特别是产于陆内造山带中巨型斑岩铜矿带的形成,如冈底斯斑岩铜矿带成矿带,近年来一直是国内外矿床学家重点关注的对象(侯增谦等,2007)。本文选取冈底斯斑岩铜矿带成矿带中的典型矿床南木斑岩铜(钼)矿床,从成矿流体组成的角度探讨其成矿物质来源及演化。另外,该成矿带中的甲马矿床目前在成因上还存在争议,有海底喷流沉积成矿说(潘凤雏等,1997,2002;杜光树等,1998;姚鹏等,1999,2006;彭勇民等,2001)岩浆热液交代成矿说(冯孝良等,2001;李光明等,2005;余宏全等,2005)或斑岩型矿床说(孟祥金,2004)以及海底喷流沉积和岩浆热液叠加成矿说(任云生等,2002)等,本文也将从成矿流体组成入手,对甲马矿床进行解剖,以期获得该矿床的成因信息。

流体包裹体作为成矿流体的残留样本,是获取成矿流体信息的唯一直接窗口,其原位组成分析多年来一直是矿床学家不懈探索的课题,并在现代成矿理论研究中发挥了越来越重要的作用。同步辐射

X射线荧光(SR-XRF)微束分析是目前不多的流体包裹体组成原位无损分析方法之一,具有很高的微量元素分析灵敏度,其绝对检出限可达 $10^{-12} \sim 10^{-13}g$ 相对检出限可达 $10^{-9}$ 量级,并且具有良好的空间分辨率(邹春学等,2002;于福生等,2004;汤云晖等,2005;罗红宇等,2006)。本文将采用SR-XRF微束分析,对甲马铜多金属矿床和南木斑岩铜(钼)矿床的流体包裹体组成开展研究。

## 1 区域地质背景

冈底斯铜多金属成矿带位于印度-亚洲大陆碰撞造山带之拉萨地体南缘、冈底斯火山-岩浆弧的中东段,平行于雅鲁藏布江缝合带展布(图1)。拉萨地体沉积地层主要由奥陶系-石炭系-三叠系浅海碎屑沉积序列组成(Yin *et al.*, 1988)。冈底斯弧火山岩系主要由钙碱性安山岩和安山质火山碎屑岩构成。冈底斯花岗岩基以同碰撞花岗岩为主,年龄范围120~24 Ma(侯增谦等,2003b);20~14 Ma冈底斯地区东西向伸展产生近南北向横跨冈底斯带的裂谷系(Harrison *et al.*, 1995; Coleman and Hodges, 1995),并对早期东西向构造进行改造,发育形成了总体呈东西向展布的含矿斑岩带、小体积花岗岩带以及一套钾质钙碱性熔岩(侯增谦等,2003b),冈底斯斑岩和矽卡岩型铜多金属矿即主要形成于该时

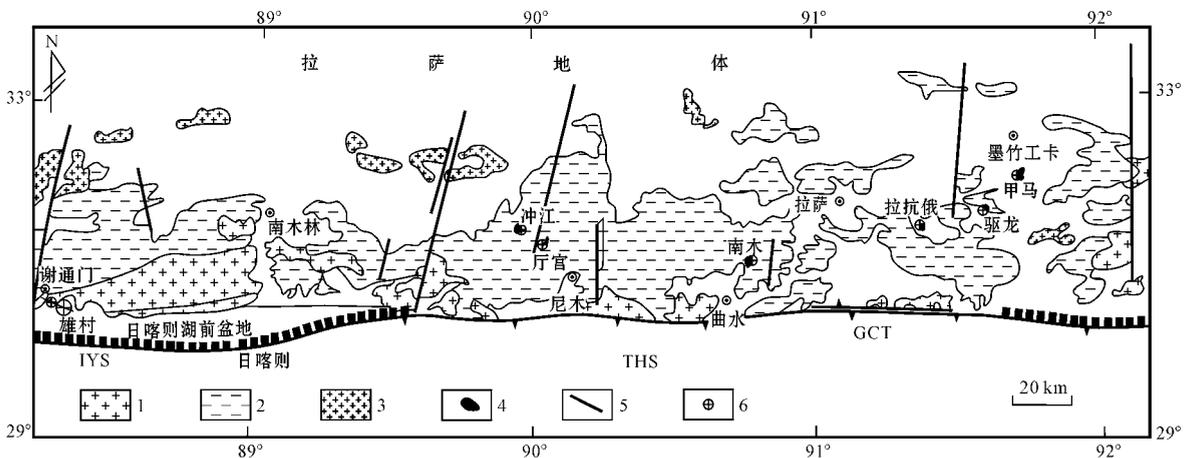


图1 冈底斯铜多金属成矿带构造岩浆岩略图(据曲晓明等,2007)

Fig. 1 Sketch geological map of the Gangdise copper-polymetallic metallogenic belt (after Qu Xiaoming *et al.*, 2007)

THS—特提斯喜马拉雅被动陆缘沉积系列;GCT—大反向逆冲断裂;IYS—印度河-雅鲁藏布江缝合带;1—中晚燕山期花岗岩;2—早喜马拉雅期花岗岩;3—中新世小体积花岗岩;4—成矿斑岩;5—断层;6—铜矿床

THS—Tethys Himalayan passive continental margin sedimentary sequence;GCT—great reverse thrust;IYS—Indian River-Yalung Zangbo suture;1—Middle-Late Yanshanian granite;2—Early Himalayan granite;3—Miocene granite;4—ore-forming porphyry;5—fault;6—copper deposit

期。近年来,冈底斯中东段斑岩型铜矿找矿取得了重大突破,其成矿远景有望达到世界级铜矿带规模(曲晓明等 2001;郑有业等 2002;侯增谦等 2003a;李光明等 2004)。

## 2 矿区地质

### 2.1 甲马铜多金属矿床

甲马铜多金属矿床产于冈底斯铜多金属成矿带东段甲马弧间盆地中(图 1)。矿区出露一套呈 NWW 向展布的侏罗系—白垩系浅海相碳酸盐岩和陆源碎屑岩,并发育有大量燕山晚期—喜马拉雅早期中酸性侵入岩(图 2)(李光明等 2002)。区内浅成—超浅成斑岩体及花岗质脉岩群受区域性大断裂旁侧北西和近南北向次级断裂及其交汇部位控制;主要斑岩类型为二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩,具有埃达克质岩的地球化学特征(曲晓明等,2001,2004)。区内花岗闪长斑岩和闪长斑岩脉 K-Ar 年龄为 20~13.4 Ma(冯孝良等 2001)。

甲马矿床为一以铜为主,兼含有钼、铅、锌、金、银等有用组分的大型多金属矿床,平均品位 Cu 1.14%、Pb 3.41%、Zn 1.66%、Mo 0.024%、Au 0.5 g/t、Ag 20.67 g/t(冯孝良等,2001;李光明等,2005)。主矿体呈层状、似层状产于岩体外围多底沟组(J<sub>3d</sub>)碳酸盐岩顶部(图 2),长约 4.2 km,厚平均 12.6 m,斜向最大延伸约 1 500 m。此外,多底沟组上部、林布宗组(J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub>)底部砂板岩以及蚀变斑岩的内接触带亦含有一些次要矿体。矿化主要与块状和层纹条带状矽卡岩伴生,其次为矽卡岩化大理岩和蚀变砂页岩。矽卡岩主要呈似层状、扁豆状、囊状、脉状产于碳酸盐岩地层的层间破碎带中,主要类型有石榴石矽卡岩、透辉石矽卡岩、硅灰石矽卡岩和绿帘石矽卡岩。除矽卡岩化外,与矿化有关的蚀变还有硅化、绢云母化、绢英岩化、绿泥石化和泥化,绢英岩化主要发生于砂板岩中(曲晓明等,2001;余宏全等 2005)。此外,斑岩体与围岩接触带还出现局部角岩化和大理岩化。主要蚀变矿化阶段包括干矽卡岩阶段、湿矽卡岩阶段、氧化物阶段和石英-硫化

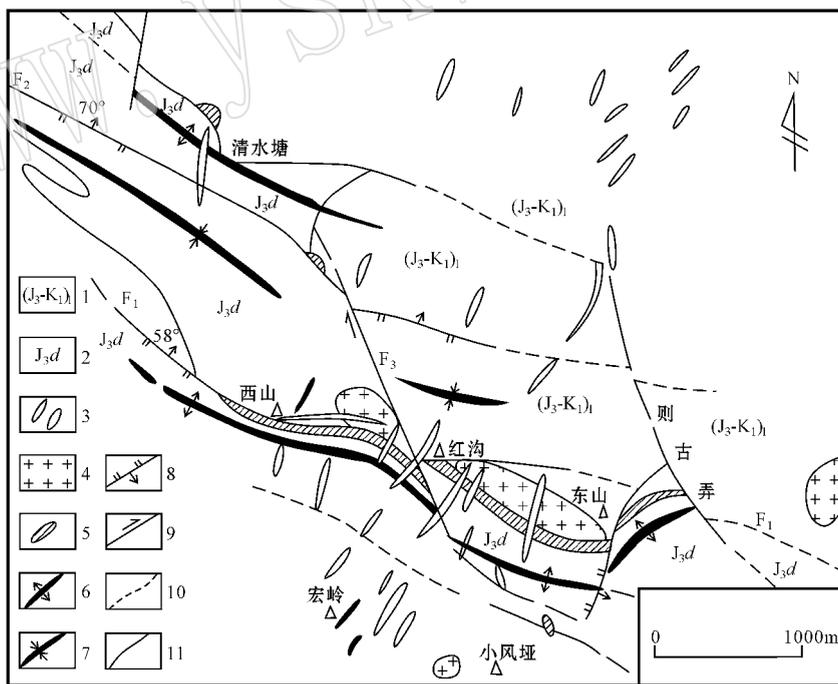


图 2 西藏甲马铜多金属矿区地质略图(据曲晓明等 2001)

Fig. 2 Sketch geological map of the Jiama copper-polymetallic deposit, Tibet (after Qu Xiaoming *et al.*, 2001)

1—上侏罗统—下白垩统林布宗组砂板岩;2—上侏罗统多底沟组碳酸盐岩;3—花岗斑岩脉;4—二长花岗斑岩;5—Cu 多金属矿体;

6—背斜轴;7—向斜轴;8—逆断层;9—平移断层;10—性质不明断层;11—地质界线

1—sandy slate of Upper Jurassic-Lower Cretaceous Linbuzong Formation; 2—carbonate rock of Upper Jurassic Duodigou Formation (J<sub>3d</sub>);

3—granite-porphyry vein; 4—adamellite porphyry; 5—Cu-polymetallic ore body; 6—anticline axis; 7—syncline axis; 8—thrust; 9—strike

fault; 10—inferred fault; 11—geological boundary

物阶段(余宏全等,2005)。矿区主要矿石矿物有黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、自然金、辉银矿等。脉石矿物主要有石榴石、透辉石、绿帘石、硅灰石、透闪石、钙质斜长石、石英、方解石等。辉钼矿 Re-Os 年龄为  $15.18 \pm 0.98$  Ma(李光明等,2005)和  $15.70 \pm 0.36$  Ma(余宏全等,2005),矽卡岩矿石及外围砂岩中的磷灰石、锆石裂变迹年龄范围为  $22.0 \pm 4.3 \sim 16.1 \pm 0.9$  Ma(袁万明等,2001)。

## 2.2 南木斑岩铜钼矿床

南木斑岩铜钼矿床位于冈底斯岩浆岩带中东段,南距雅鲁藏布江缝合带约 30 km。矿区主要发育岩浆岩(图3),主要岩石类型有黑云母二长花岗岩、花岗闪长斑岩、石英闪长岩和流纹斑岩。黑云母二长花岗岩分布面积最大,成矿岩体花岗闪长斑岩直接侵位于其中。产于花岗闪长斑岩与黑云母二长花岗岩的内、外接触带中的铜、钼矿体,同时受 NWW 向断裂破碎带控制,构成一条长达 1 500 m、宽 200~300 m 的铜钼矿化带。从矿化斑岩到外接触带黑云母二长花岗岩,出现钾化—绢英岩化—青

磐岩化的蚀变分带。钾化主要出现在斑岩体内和周围,表现为钾长石交代斜长石的边缘和黑云母交代斜长石、石英等。绢英岩化蚀变在内外接触带中都很发育,鳞片状绢云母和粒柱状石英广泛交代斜长石,当有黄铁矿伴生时,构成黄铁绢英岩化。青磐岩化作用强、分布范围广,在外接触带黑云母二长花岗岩中发育,主要表现为暗色矿物黑云母、角闪石的绿泥石化及斜长石的绿帘石化、碳酸盐化(张绮玲等,2003)。矿石构造以细脉浸染状为主,在含矿斑岩内部,细粒半自形黄铁矿和他形黄铜矿呈浸染状均匀分布。矿石中的主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、斑铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、铜蓝、孔雀石及钼华等。辉钼矿 Re-Os 年龄为  $14.67 \pm 0.2$  Ma(侯增谦等,2003a)。

## 3 流体包裹体岩相学特征

### 3.1 甲马矿区

石英—硫化物阶段脉石英中的包裹体发育,形态呈圆形、纺锤形或不规则状,部分呈负晶形(图4)。常温下以气液两相包裹体居多,其中气相体积分数 < 50% 的 L 型包裹体一般小于  $10 \mu\text{m}$ ,部分  $15 \sim 30 \mu\text{m}$ ,气相体积分数 > 50% 的 G 型包裹体多小于  $10 \mu\text{m}$ ,部分  $15 \sim 40 \mu\text{m}$ ,一些较大包裹体可达  $50 \mu\text{m}$  以上,拉曼探针揭示 G 型包裹体气相中含  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{N}_2$ ,部分富  $\text{CO}_2$  包裹体在常温下可清晰分辨出液相和气相  $\text{CO}_2$ 。含子晶的多相包裹体(S型包裹体)数量较少,包裹体大小  $5 \sim 45 \mu\text{m}$ ,部分含有多个子晶,子晶主要为石盐、钾盐和石膏,偶尔可见黄铁矿、黄铜矿捕虏晶。S型包裹体时常与 G型包裹体伴生(图4b)。

### 3.2 南木矿区

绢英岩化斑岩体中的斑晶石英及矿化脉石英均发育有大量包裹体,也分为 L型、G型和 S型 3 种类型,形态呈负晶形、椭圆形或短柱状,个体较大者形态不规则(图5)。其中 G型包裹体最为发育,其气相体积分数约占 60%~90%,大小  $10 \sim 40 \mu\text{m}$ ,少数可达  $60 \mu\text{m}$  以上,气泡颜色深,拉曼探针证实其中含有  $\text{CO}_2$ 。其次为 L型包裹体,气相体积分数 < 40%,大小  $25 \sim 50 \mu\text{m}$ 。S型包裹体数量较多,大小  $5 \sim 40 \mu\text{m}$ ,少数可达  $60 \mu\text{m}$  以上,同一包裹体中常出现多个子晶,子晶类型较复杂,除石盐和钾盐外,还含有一些未知子晶,偶见黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿捕虏晶。

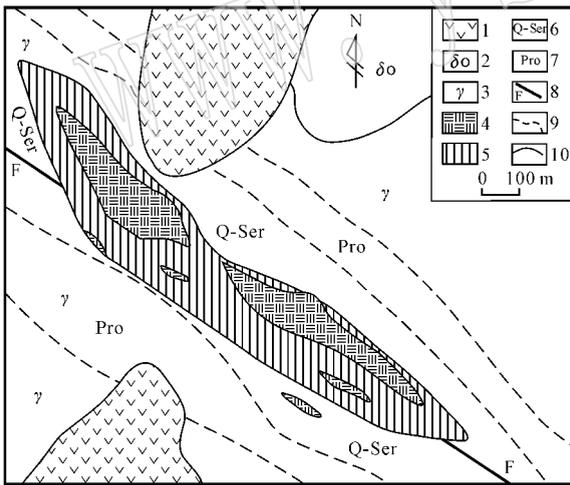


图3 西藏南木铜钼矿区地质略图(据曲晓明等,2001)

Fig. 3 Sketch geological map of the Nanmu copper-molybdenum deposit, Tibet (after Qu Xiaoming *et al.*, 2001)

1—流纹斑岩;2—石英闪长岩;3—黑云母二长花岗岩;4—花岗闪长斑岩;5—Cu、Mo 矿体;6—绢英岩化蚀变带;7—青磐岩化蚀变带;8—断层;9—蚀变带界线;10—地质界线

1—rhyolitic porphyry;2—quartz diorite;3—biotite adamellite;4—granodiorite porphyry;5—Cu, Mo ore body;6—phyllite alteration zone;7—propylitization alteration zone;8—fault;9—boundary of alteration zone;10—geological boundary

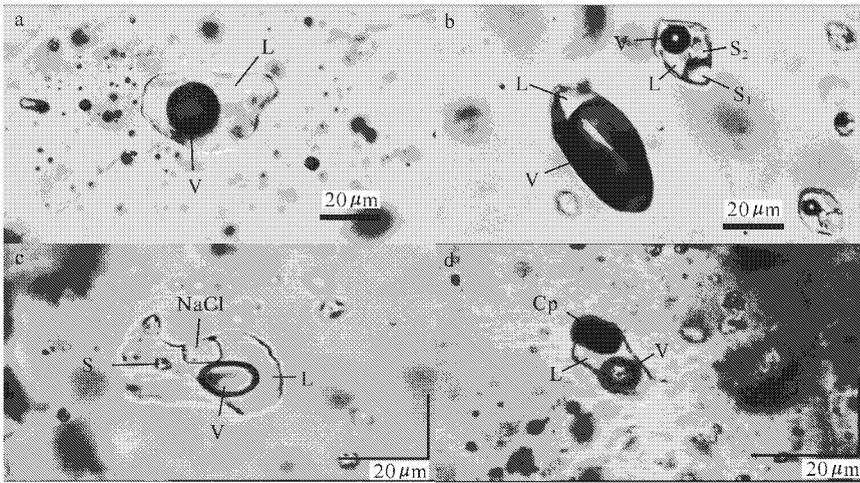


图 4 甲马铜多金属矿脉石英中流体包裹体照片(透射光)

Fig. 4 Photographs of fluid inclusions in quartz veins from the Jiama copper-polymetallic deposit (transmitted light)

a—L 型包裹体 样号 Jz-20 ; b—S 型和 G 型包裹体 样号 Jz-15 ; c—S 型包裹体 样号 Jz-15 ; d—含黄铜矿 (Cp) 捕虏晶的 S 型包裹体 样号 Jz-10  
 a—L-type fluid inclusion in sample Jz-20 ; b—S- and G-type fluid inclusions coexistent in sample Jz-15 ; c—S-type fluid inclusion in sample Jz-15 ;  
 d—Cp-bearing S-type fluid inclusion in sample Jz-10

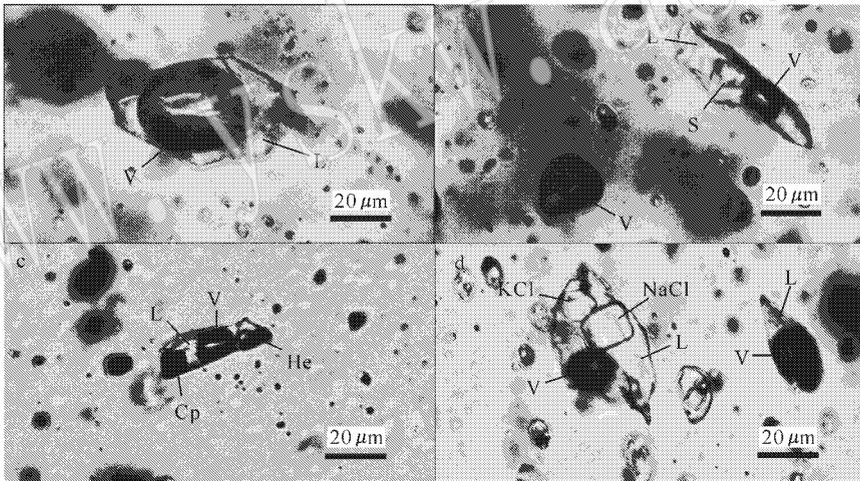


图 5 南木铜钼矿脉石英中流体包裹体照片(透射光)

Fig. 5 Photographs of fluid inclusions in quartz veins from the Nanmu copper-molybdenum deposit (transmitted light)

a—L 型包裹体 样号 DB-02(3) ; b—S 型和 G 型包裹体 样号 DB-02(3) ; c—含黄铜矿 (Cp) 和赤铁矿 (He) 捕虏晶的 S 型包裹体 样号 DB-05 ;  
 d—S 型和 G 型包裹体 样号 DB-05  
 a—L-type fluid inclusion in sample DB-02 (3) ; b—S- and G-type fluid inclusions coexistent in sample DB-02(3) ; c—Cp- and He-bearing  
 S-type fluid inclusions in sample DB-05 ; d—S- and G-type fluid inclusions coexistent in sample DB-05

S 型包裹体常成片分布, 并与 L 型、G 型包裹体密切共生(图 5b、d)。此外, 斑晶石英中还可见到少量熔流包裹体(M 型), 熔体已脱玻化。

### 4 流体包裹体 SR-XRF 分析

#### 4.1 分析方法

SR-XRF 实验在中国科学院高能物理研究所同

步辐射实验室荧光分析实验站进行。对撞机储存环电子能量为 2.5 GeV, 束流强度为 50~170 mA。实验用单色 X 射线能量为 15.8 keV, 光斑大小为 20 μm×50 μm。探测器能量分辨率为 134 eV(在 5.9 keV 处)。标样采用美国国家标准局提供的合成玻璃标样 NIST SRM 612(基体组成为 SiO<sub>2</sub> 72% ,CaO 12% ,Na<sub>2</sub>O 14% ,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2% ,基体中掺入微量元素 61 种)标样中的元素含量采用 Pearce 等(1997)推

荐的平均值。测试数据经能量衰减校正,并参照 Frant(1988)方法进行吸收校正。吸收校正过程中包裹体深度测量采用英国 Renishaw 产自动台,其测量精度为  $0.1\mu\text{m}$ 。甲马和南木矿区的测试样品特征列于表 1。

## 4.2 测试结果

### 4.2.1 甲马矿区

甲马矿床流体包裹体 SR-XRF 测试结果列于表 2,其中部分元素经原始地幔标准化后示于图 6。由表 2 和图 6 可看出:

表 1 甲马和南木矿区流体包裹体 SR-XRF 测试样品特征

Table 1 Characteristics of SR-XRF analytical samples from the Jiama and Nanmu deposits

矿区	样号	取样位置	样品特征	热液石英中流体包裹体均一温度/℃
甲马	Jz-01	ZK8008-101m	绿泥石化阳起石透辉石砂卡岩中的石英-黄铁矿脉	256~464(375)
	Jz-10	ZK9612-152m	透辉石化灰岩中的石英(粗粒)-黄铁矿(粗粒)-磁黄铁矿-闪锌矿粗脉	182~387(307)
	Jz-15	ZK8020-200m	砂板岩中的石英(粗粒)-黄铁矿-磁黄铁矿-闪锌矿粗脉,叠加晚期方解石脉	181~434(324)
	Jz-16	ZK8020-383m	石英(粗粒)-黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿粗脉	193~550(335)
	Jz-17	ZK9608-261m	透辉石砂卡岩中的石英(粗粒)-黄铜矿-磁黄铁矿-黄铁矿粗脉	238~383(324)
	Jz-20	ZK9608-267m	阳起石透辉石砂卡岩中的石英-黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿粗脉	195~388(312)
	Jz-21	ZK8016-213m	阳起石透辉石砂卡岩中的石英-黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿-磁铁矿脉	260~395(358)
	Jz-19	ZK8016-251m	绿泥石化砂板岩中的石英(粗粒)-黄铁矿-磁黄铁矿粗脉	260~407(339)
	南木	DB-01	地表	绿泥石化绢英岩化花岗闪长斑岩,浸染状自形黄铁矿矿化
DB-02		地表	绢英岩化花岗闪长斑岩,穿插石英(粗粒)-辉钼矿-黄铁矿-黄铜矿粗脉	256~437(353)
DB-03		地表	绿泥石化绢英岩化花岗闪长斑岩,浸染状黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿矿化	200~438(314)
DB-04		破碎带	条带状石英-绢云母-黄铜矿-黄铁矿脉	255.8~393(343)
DB-05		地表	绿泥石化绢英岩化花岗闪长斑岩,穿插石英-黄铜矿-黄铁矿脉	208.7~435(330)
DB-06(1)		地表	绿泥石化绢英岩化花岗闪长斑岩,穿插石英-黄铜矿-黄铁矿-辉钼矿网脉	194.6~406(317)
DB-06(2)		地表	绢英岩化花岗闪长斑岩穿插石英-黄铜矿-黄铁矿网脉	186.4~371(306)

注:括号内数值为均一温度均值;流体包裹体显微测温在中国地质科学院矿产资源研究所流体包裹体与成矿模拟实验室进行,所用仪器为英国 Linkam 公司生产的 THMSG600 型显微冷热台,测温范围  $-196\sim+600\text{℃}$ ,测温精度  $\pm 0.1\text{℃}$ 。

(1)除 Cr 外,流体包裹体中各元素含量总体低于成矿斑岩(除样品 Jz15-1、Jz15-2、Jz15-3、Jz15-4、Jz20-5 之外),但流体包裹体、主矿物石英及成矿斑岩中第一过渡族元素经原始地幔标准化后的变化模式大体相似(图 6)。显示出成矿物质与成岩物质在来源上存在着亲缘性。

(2)成矿斑岩表现出 Cr、Ni 异常,呈“W”形分布,显示出幔源派生岩石的元素分异特性;而流体包裹体虽出现 Ni 异常,却不出现 Cr 异常(如图 6d、e、g、h),其中 Cr 含量显著高于成矿斑岩。此外,包裹体中 Fe 较其他元素出现了明显亏损(如图 6b、d、f、g),而成矿斑岩中的 Fe 则不出现异常。

(3)流体包裹体、主矿物石英及成矿斑岩中 Pb 含量均较高,Pb 含量标准化数值远大于 1,显示成岩成矿过程中均有大量壳源物质参与。

(4)成矿斑岩中 Cu、Zn 含量较高,其原始地幔标准化值远大于 1;而流体包裹体中 Cu、Zn 含量则较低,其原始地幔标准化值小于 1,这与成矿流体中 Cu、Zn 析出成矿有关。

(5)部分样品 Pt 和 Ir 异常,如样品 Jz-16 中测出石英本底含有元素 Pt,4 号、5 号包裹体中含有元素 Ir(图 7)。SR-XRF 谱图中,Pt、Ir 特征峰显著,其峰值远高于背底,但由于所采用标样中不含元素 Pt 和 Ir,无法确定石英及包裹体中 Pt 和 Ir 的含量。根据 SR-XRF 最低检出限  $10^{-9}$  量级推断,石英本底中 Pt 的含量至少是大陆地壳中 Pt 丰度( $0.4\times 10^{-9}$ , Wedepohl, 1995)的 2.5 倍以上,流体包裹体中 Ir 的含量至少是大陆地壳中 Ir 丰度( $0.05\times 10^{-9}$ , Wedepohl, 1995)的 20 倍以上。

### 4.2.2 南木矿区

南木矿床流体包裹体 SR-XRF 测试结果列于表 3,其中部分元素组成经原始地幔标准化示于图 8。由表 3 和图 8 可看出:

(1)南木矿床流体包裹体及主矿物石英的第一过渡族元素经原始地幔标准化后的分布样式与成矿斑岩的大体相似,同样显示了三者间物质来源上的亲缘性。斑晶石英中的熔流包裹体(图 8h, DB05-5, M 型)与流体包裹体的变化模式也基本相同。

表 2 甲马矿床脉石英中流体包裹体 SR-XRF 分析结果

 $w_B/10^{-6}$ 

Table 2 SR-XRF analyses of fluid inclusions in vein quartz from the Jiama deposit

样号	包裹体号	包裹体类型	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	其他元素
Jz-01	1	L 型	43.48		346.46	145.05	1 402.77	1.28	2.42	2.84	2.59	La
	1	G 型			95.40	19.26	136.82		0.74	5.53	3.06	
Jz-10	2	S 型			788.34	86.57	7 529.79		40.98	2.72		La
	3	G 型, 富 CO <sub>2</sub>			166.30		98.65		1.12	1.66	1.26	Ba, Eu
	1-气相	S 型			35.85	1 270.35	13 490.05	4.95	0.58	116.71	111.31	Br, La
	1-固相	S 型			55.11	1 817.12	14 314.80	5.23	4.54	190.14	162.08	Br, Cl, La
	2	S 型			43.72	515.28	11 013.75	3.98	0.45	12.89	8.62	La
	3	S 型			1 039.31	86.01	31 953.91	13.32		8.48	7.43	Br, Se, La
	4	S 型			96.48	360.74	15 349.74	5.35		41.23	20.66	Br, Se
	5	G 型			104.37	84.00	1 678.47	1.73		10.80	9.94	
Jz-15	6	S 型			837.17	252.60	3 718.96			4.79	8.44	U, La
	7	S 型			202.66	143.09	1 259.61			12.95	13.21	Br, La
	8	S 型			186.37	135.60	1 754.02			10.28	7.70	Br, La
	9	S 型			552.90	140.53	1 957.02		2.24	14.26	10.81	Br, La
	10	L 型			49.15	48.34	425.76		2.70	7.57	11.04	Br, Se
	11	S 型			126.32	149.04	679.31		2.31	24.45	32.66	Br, Er
	12	S 型	864.95		200.78	40.99	4 788.30			6.49	10.12	Br, Sr, La
	1	S 型			953.30	95.81	114.83			12.76	2.51	
Jz-16	2	S 型	103.67	7.36	239.94	22.12	47.84	0.53	1.24	17.70	1.13	Co 0.79
	3	L 型	284.80		249.43	25.69	84.20		1.46	17.20	2.09	
	4	S 型	92.40		663.71	99.87	351.70			17.37	10.85	Br, Ir
	5	S 型	86.63		249.21	93.11	194.63	0.83	3.11	21.43	12.87	Br, Se, Ir
	6	L 型	84.42	10.45	1 511.42	202.76	273.25		2.51	21.49	7.59	Br
	1	L 型	18.62		173.91	24.75	433.61		7.42	2.40	2.41	Br, Se
Jz-17	2	L 型			396.82	23.63	135.28		20.65	4.02	8.87	Br, Se
	3	G 型			173.81	56.85	4 500.31	1.61	3.95	4.25	7.90	Sc, Br, La
	4	S 型			113.18	20.33	6 110.12	4.06	2.15	4.58	10.21	Br, La
	1	L 型	56.22		243.62	26.10	52.63			2.70	3.01	Br
Jz-19	2	G 型	18.08	7.74	172.25	7.08	169.70			2.32		La
	3	L 型			271.59	14.03	108.11			2.19		Br
	1	G 型	51.50		572.02	9.96	77.62	0.89	5.14	4.53		Br, Se
Jz-20	2	G 型	59.79		299.89	6.50	39.67			1.33	0.84	
	5	S 型	52.95		250.59	594.79	288.61		1.55	31.70	25.24	
Jz-21	1	L 型	24.09		182.98	36.52	1 113.17	1.23	2.90	2.98		La
	成矿斑岩均值 ( $n=7$ )		2 172.14	55.79	18.67	398.29	13 828.11	19.19	125.67	302.24	206.03	Co 14.76
	原始地幔值		1 205	82	2 625	1 045	62 600	1 960	30	55	0.15	
	大陆地壳丰度		4 010	98	126	716	43 200	56	25	65	14.8	

注 L—液体包裹体, G—气体包裹体, S—含子晶多相包裹体; 成矿斑岩均值据曲晓明等(2001); 原始地幔值据韩吟文等(2003); 大陆地壳丰度据 Wedepohl(1995); 空白处为未检测到该元素含量或其含量极低。

(2) 与甲马矿区样品类似, 南木矿区成矿斑岩第一过渡族元素呈“W”形分布, 显示出幔源派生岩石的元素分异特性; 而流体包裹体出现 Ni 异常, 却不出现 Cr 异常, 包裹体中 Fe 也较其他元素出现了明显亏损。此外, 南木矿区产于破碎带中的样品 DB-04 的流体包裹体 Mn 元素相对富集(图 8g), 高于成矿斑岩和其他样品。

(3) 流体包裹体和成矿斑岩均表现出高 Cu、Pb

而低 Zn 的特征, 反映出南木矿床以 Cu 为主的矿化属性。流体包裹体中 Cu 含量最高可达  $1 868 \times 10^{-6}$ , 主要是多相包裹体中 Cu 含量较高。流体包裹体中 Pb 含量同样很高, 与原始地幔相比富集 7.5~220 倍。此外, 样品 DB-01 中的流体包裹体含 Au  $1.26 \times 10^{-6}$ , 反映出成矿流体在晚期出现 Au 的富集(该样品流体包裹体均一温度均值相对其他样品偏低, 表 1)。

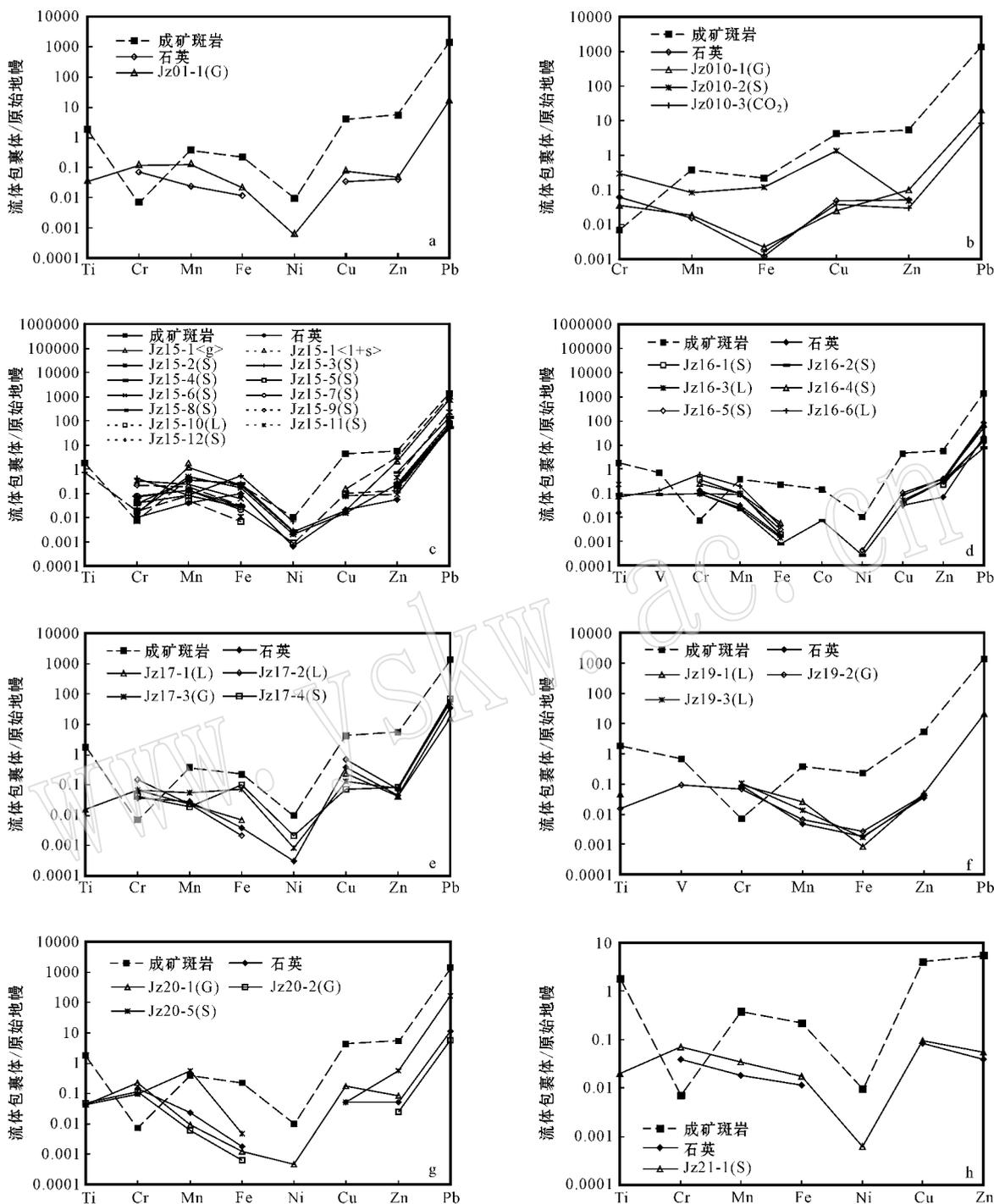


图6 甲马矿区流体包裹体及石英中元素含量原始地幔标准化(对数)图

Fig. 6 Primitive mantle normalization (ln) of elements in fluid inclusions and quartz from the Jiama deposit

## 5 讨论

SR-XRF 分析显示,甲马、南木两个矿区流体包裹体及主矿物石英的第一过渡族元素原始地幔标准

化模式与两矿区成矿斑岩大体一致,南木矿床斑晶石英中的熔融包裹体与流体包裹体的变化模式也基本相同,这些特征强烈指示两矿床与斑岩体在物质来源上的亲缘性。据余宏全等(2005)资料,甲马矿床矿化石英中包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 和 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 组

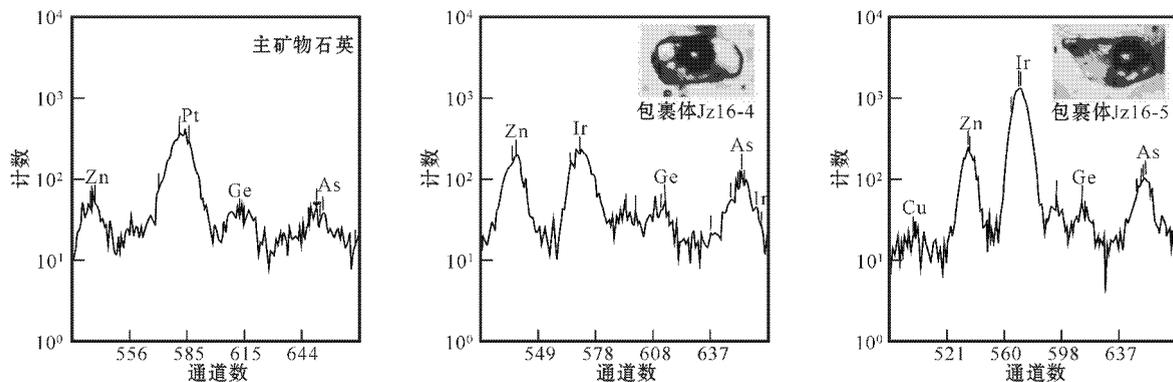


图 7 甲马矿区 Jz16 石英及流体包裹体 SR-XRF 谱图

Fig. 7 SR-XRF spectra of quartz and fluid inclusions in sample Jz16 from the Jiama deposit

表 3 南木矿床石英中流体包裹体 SR-XRF 分析结果

$w_B/10^{-6}$

Table 3 SR-XRF analyses of fluid inclusions in vein quartz from the Nanmu deposit

样号	包裹体号	包裹体类型	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	其他元素
DB-01	1	S型	21 638.50	79.41	1 782.64	1 106.32	2 366.22		38.51	6.71		Au 1.26
	2	G型	181.93	8.63	1 446.09	367.73	438.64		33.94	7.79		
	3	S型	742.56	27.45	773.33	94.21	813.72		20.59	5.20		Eu
	5	L型	200.40		139.46	18.19	138.73	0.77	6.99	2.33	2.94	Br
	7	S型	356.13		640.71	53.87	402.06		49.23	5.39	5.28	Br
DB-02(1)	3	L型	90.26		268.40	14.47	134.51		26.59	2.96	2.31	
	4	S型			323.45	27.14	226.11		55.65	6.64	4.86	Br
	5	S型	953.38		3 210.60		282.67		12.52	3.17		Br
	6	S型	305.97		423.15	9.08	738.87		492.49	6.20	8.67	
	7	L型	310.24		1 225.29	51.35	237.58		16.83	4.69	3.67	Br
DB-02(2)	9	S型	574.64		2 857.65	70.06	517.04		30.05	9.45	9.86	Br
	10	S型	291.31		925.16	15.03	165.69		103.17	1.84	1.58	Co 2.30, Br
	1	L型	94.01		638.77	26.13	122.34		11.21	4.14	1.88	Br
	2-气相	L型	234.25		141.75		135.81		10.18	2.05		Br
	2-液相	L型	132.00		181.06		150.33		11.67	2.45		Br
	3	S型			773.49	23.61	585.65		286.45	4.32	2.24	Br
	5	G型			208.05		216.14		75.03	2.59		Se
	7	L型			267.73	141.77	534.93		39.01	16.68		Se, Br, Hg
	8	S型	49.61		885.63	47.88	2 353.79		9.77	6.68		Se, La
	10	S型	101.9		73.67		283.53		3.34	4.68		Se
	11	S型			395.42	95.36	357.47		4.61	11.18	6.32	Br
13	S型	140.41		206.65	52.71	262.96		49.63	4.91	6.14	Br	
14-气相	L型	138.35		119.85	11.09	318.77		16.11	2.05	3.69	Br	
14-液相	L型	126.34		126.34	16.57	400.47		11.84	1.87	3.03		
15	S型	75.50		170.00	82.77	283.27		29.92	6.48	5.91		
16	S型	1 217.33		229.90	18.73	990.34		16.28	4.59	5.21		
DB-02(3)	2	S型	177.48		282.70	208.27	354.11		35.61	30.59	18.40	Br
	3-固相	S型			438.32		170.99		16.79	8.00		Br
	3-气相	S型	1 059.20		135.58		230.73		37.79	5.89	5.78	Br
	4	L型			151.52	16.52	87.59		39.09	7.78	6.03	Br
	1	S型	155.99		212.45	87.76	1 035.40		1 667.34	7.95		Br
	5	S型	306.56		329.75	10.39	189.55		8.15	2.16	1.45	
	5	S型	331.20		206.04	3.46	128.15		5.50	1.25	3.39	Br
6	S型	79.17		436.60	224.86	922.53		107.95	26.06	33.04	Br, Cl	
7	G型	87.65		457.87	54.81	230.20		26.25	7.06	5.56	Br	

续表 3  
Continued Table 3

样号	包裹体号	包裹体类型	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	其他元素
DB-03(1)	1	G 型	1 397.71	38.56	489.98	17.81	949.00		4.77	4.60	2.82	
	3	S 型	293.19	9.60	432.58	14.12	289.46		14.98	1.89		
	4	S 型	181.85		44.32		12 805.44	2.92	6.36	0.99		Se, La
DB-03(2)	1	L 型	563.01	12.22	390.01	19.99	3 704.81		7.92	1.72	1.99	
	2	S 型	404.64		297.69	26.59	306.64		9.05	2.76	4.34	Br
	3	L 型	1 305.33		359.82	30.00	666.18		5.12	2.09	2.79	
	4	S 型	747.34		187.06	22.59	736.73		33.41	3.40	2.82	Br
DB-04	1	L 型			556.36	2 648.47	1 403.12		199.38	7.02	20.32	Sr
	2	S 型			579.41	2 675.32	1 917.15		1 538.98	29.08	6.25	Sr
	3	S 型			2 447.02	3 268.66	2 580.56		692.40	12.21		Sr
	4	S 型			609.37	3 189.63	2 674.75	4.72	825.43	7.32	11.10	Sr
	5	S 型			558.72	2 859.94	2 198.62		568.35	10.00	16.47	Sr, Ce, La
DB-05	1	L 型			319.20	1 999.93	1 002.37		213.03		10.72	Sr
	1	S 型	747.96		251.10	66.48	795.60		44.14	14.16	27.72	Br
	2	L 型	257.52		467.66	17.21	153.26		11.59	2.05	3.25	Br
	5	M 型	1 011.47		342.10	42.84	497.59		44.14	11.55	4.99	Br
	6	S 型	230.92		278.48	42.25	2 297.36		40.78	3.52	1.13	La
	DB-06(1)	1	S 型	1 032.07		117.65		2 317.78	2.17	1 868.44	6.61	1.98
2		S 型	163.36		73.28	349.23	1 722.65		199.28	47.66	22.25	Br, La
3		S 型	282.58		100.48	251.34	964.78	4.28	7.52	26.01	19.36	Br
DB-06(2)	2	S 型	182.57		168.18	41.22	2 647.80		1 341.88	9.56	2.06	Se, Br, La
成矿斑岩均值(5)			2 231.40	60.24	12.38	185.87	15 508.90	15.48	393.04	39.02	44.06	Co 7.32
原始地幔值			1 205	82	2 625	1045	62 600	1960	30	55	0.15	
大陆地壳丰度			4010	98	126	716	43 200	56	25	65	14.8	

注: L—液体包裹体; G—气体包裹体; S—含子晶多相包裹体; M—石英斑晶中的熔融包裹体; 成矿斑岩均值据曲晓明等(2001); 原始地幔值据韩吟文等(2003); 大陆地壳丰度据 Wedepohl(1995); 空白处为未检测到该元素含量或其含量极低。

成范围分别为 11.2‰~11.5‰和 -78‰~-75‰, 南木矿床含石英中包裹体水的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  和  $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  组成范围分别为 9.7‰~10.8‰和 -94‰~-76‰。甲马与南木矿床成矿流体的氢、氧同位素组成以及两矿床的水-岩相互作用模拟计算结果(孟祥金, 2004)显示, 两矿床的成矿流体以岩浆水为主导, 大气水所占比例较低。甲马和南木两矿床硫化物硫同位素组成( $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$  值 -2.7‰~1.2‰)亦显示深源硫特征(曲晓明等, 2001; 余宏全等, 2005)。氢、氧、硫同位素结果与流体包裹体 SR-XRF 原位分析所揭示的成矿流体与成矿斑岩存在物质来源上的亲缘关系相一致。

甲马和南木两矿区成矿斑岩地球化学特征(高 Sr、Al, 低 Y、HREE)类似埃达克岩(曲晓明等, 2004)。Hou 等(2004)根据其  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  (-6.18~+5.52) ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) (0.7049~0.7079)  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (15.502~15.626)  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (38.389~38.960) 以及高  $\text{K}_2\text{O}$  (2.6%~8.6%) 和  $\text{Mg}^\#$  (0.32~0.74), 认为成矿斑岩岩浆源自新生代增厚镁铁质下地壳部

分熔融, 有富集型地幔和/或上地壳组分参与。物质来源上的亲缘性揭示甲马和南木两矿床的成矿物质可能有着与成矿斑岩类似的复杂来源。两矿区成矿流体表现出高 Cr 和高 Pb 以及 Ni 亏损, 并且甲马矿区还显示出 Pt 和 Ir 异常, 这些特征表明幔源和壳源物质均参与了成矿, 同时也显示了成矿流体经历了复杂的演化过程。甲马和南木两矿区成矿斑岩 Ni、Cr 原始地幔标准化后均表现为负异常, 反映了岩浆源区镁铁质岩石部分熔融过程中 Ni、Cr 作为相容元素在固相中残留。但是, 两矿区流体包裹体出现 Ni 负异常, Cr 却不出现负异常或异常不明显。成矿斑岩与成矿流体的这种差异表明, 二者尽管在物质来源上具有亲缘性, 却有着不同的演化历程, 很可能成矿流体的主体直接来自深部源区, 深部源区存在较大的流体储库。深源成矿流体与斑岩岩浆平行演化, 岩浆上侵及结晶过程中的流体分异对成矿流体影响不大, 但不排除成矿流体与斑岩岩浆之间存在相互作用。在岩浆上侵后, 深源流体活动仍在持续, 造成了斑岩体的强烈蚀变。初始成矿流体中可能

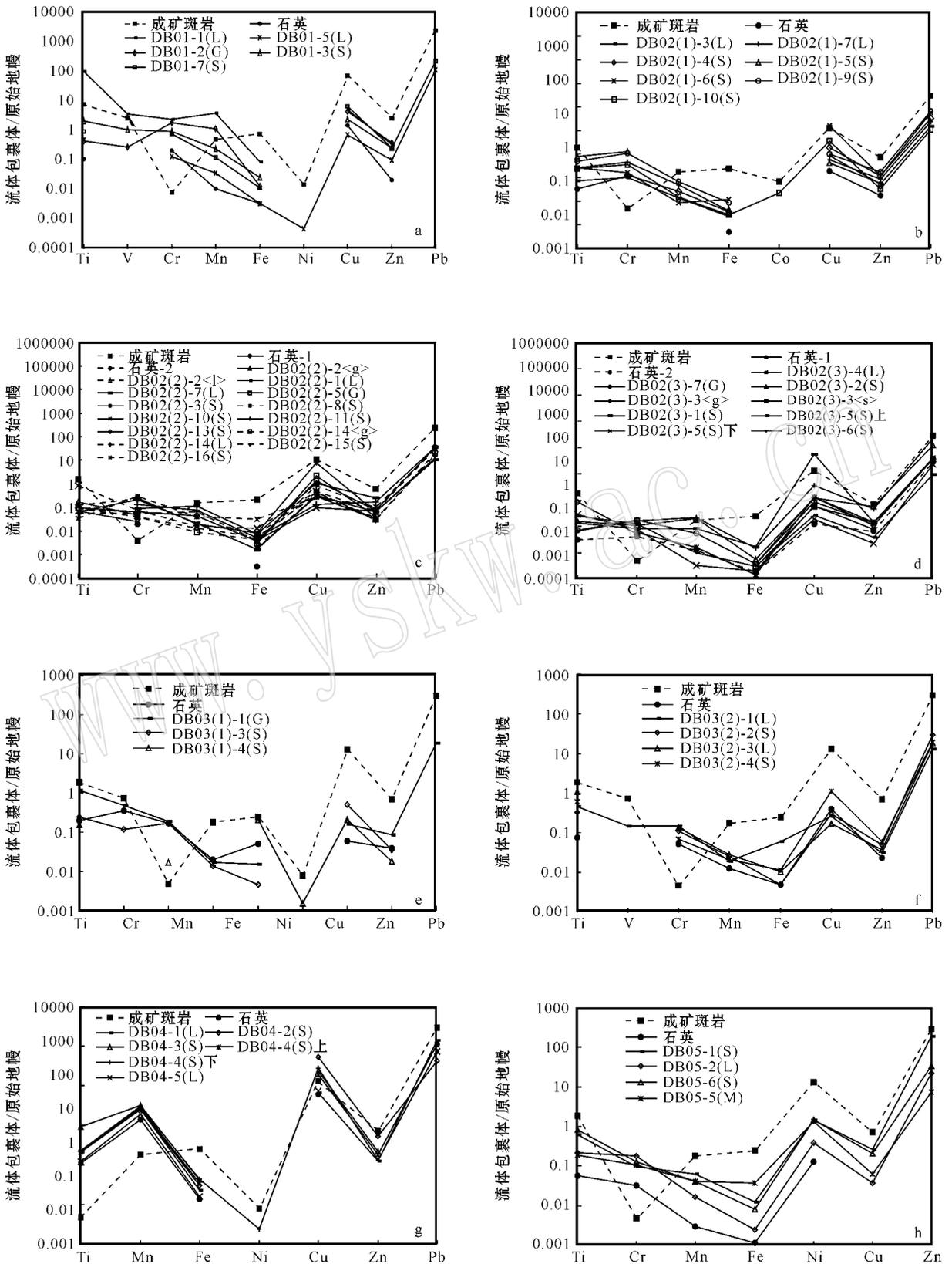


图 8 南木矿区流体包裹体及石英中元素含量原始地幔标准化(对数)图

Fig. 8 Primitive mantle normalization (ln) of elements in fluid inclusions and quartz from the Nanmu deposit

Cr、Ni 含量均较高, Cr 与 Ni 的分异可能与硫化物析出矿化有关, 由于 Ni 具亲硫性而在成矿过程中大量析出, 导致包裹体中的残留流体富 Cr 而低 Ni。

SR-XRF 分析显示, 南木矿区包裹体中的残留成矿流体中仍含有较高的 Cu (表 3)。总体来说, 在同一石英晶体内, 高盐度多相包裹体中 Cu 含量要比低盐度气液包裹体高得多, 反映 Cu 倾向于在高盐度流体中富集。然而, 近些年来西方学者通过 PIXE 及 LA-ICP-MS 对某些岩浆热液 Sn 矿床开展流体包裹体原位测试发现, Cu 更倾向于在气相中富集, 而不是在高盐度卤水中富集 (Lowenstern *et al.*, 1991; Heinrich *et al.*, 1992, 1999; Audetat *et al.*, 1998)。由此可见, Cu 在成矿流体中的迁移行为较为复杂, 不仅受各种物理化学条件控制, 而且不同地质背景下产出的不同类型矿床其行为可能不同。SR-XRF 分析还显示, 南木矿区 Au 在晚期成矿流体中富集, 这也是今后矿区进一步勘查中值得注意的一点。

甲马矿床的成因一直存在较大争议。本次 SR-XRF 分析结果显示, 甲马矿床与矿区斑岩存在密切联系。实际上, 在甲马矿区一些斑岩体也表现出较强的矿化。尽管甲马矿床的主体产于地层中, 但矿化脉体与矽卡岩存在明显的穿插关系 (冯孝良等, 2001)。结合近年来该矿床的稳定同位素和测年结果 (袁万明等, 2001; 李光明等, 2005; 余宏全等, 2005), 甲马矿床应为与中新世 20~14 Ma 间冈底斯地区东西向伸展所导致的构造岩浆事件伴生的矽卡岩型矿床。矿化脉石英中流体包裹体测温也不支持喷流沉积观点, 包裹体均一温度高达 550°C (表 1)。

## 6 结论

(1) SR-XRF 原位分析揭示, 甲马矿床流体包裹体高 Cr、Pb, 低 Ni、Fe, 且存在 Pt、Ir 异常; 南木流体包裹体高 Cr、Cu、Pb, 低 Ni、Fe、Zn, 晚期有 Au 富集, Cu 倾向于在高盐度流体中富集。

(2) 甲马和南木两矿床成矿流体中的元素原始地幔标准化模式与两矿区的矿化斑岩大体类似, 显示出两矿床与区内斑岩在物质来源上具有亲缘性, 幔源和壳源物质共同参与了成矿。但是, Cr 含量的差异也显示出, 成矿流体与斑岩岩浆为“兄弟”关系, 而不是“母子”关系, 二者平行演化。对于甲马矿床, 流体包裹体 SR-XRF 原位组成分析以及显微测温结果不支持喷流沉积成因观点。

致谢 衷心感谢国家地质测试中心的詹秀春老师和中国科学院高能物理研究所同步辐射实验室的徐伟同学给与的指导与帮助!

## References

- Audetat A, Gunther D and Heinrich C A. 1998. Formation of a magmatic-hydrothermal ore deposit: insights with LA-ICP-MS analysis of fluid inclusion [J]. *Science*, 279: 2 091~2 094.
- Coleman M and Hodges K. 1995. Evidence for Tibetan Plateau uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension [J]. *Nature*, 374: 49~52.
- Du Guangshu, Yao Peng, Pan Fengchu, *et al.* 1998. Summarine Exhalative Sedimentary Skarn and Mineralization [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1~156 (in Chinese with English abstract).
- Feng Xiaoliang, Guan Shiping, Mou Chuanlong, *et al.* 2001. Geological characteristics and genesis of the Jiama copper polymetallic deposit in Tibet [J]. *Geol. & Geochem.*, 29(4): 40~48 (in Chinese with English abstract).
- Frantz J D, Mao H K, Zhang Y G, *et al.* 1988. Analysis of fluid inclusions by X-ray fluorescence using synchrotron radiator [J]. *Chemical Geology*, 69: 235~244.
- Han Yinwen, Ma Zhendong, Zhang Hongfei, *et al.* 2003. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 45~47 (in Chinese).
- Harrison T M, Copeland P and Kidd W S F. 1995. Activation of the Nyainqentanghla shear zone: implication for uplift of the southern Tibetan Plateau [J]. *Tectonics*, 14: 658~676.
- Heinrich C A, Gunther D, Audetat A, *et al.* 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusion [J]. *Geology*, 27: 755~758.
- Heinrich C A, Ryan C C, Mernagh T P, *et al.* 1992. Segregation of ore metals between magmatic brine and vapor: a fluid inclusion study using PIXE microanalysis [J]. *Econ. Geol.*, 87: 1 566~1 583.
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, *et al.* 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 220(1~2): 139~155.
- Hou Zengqian, Lü Qingtian, Wang Anjian, *et al.* 2003a. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen [J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 319~334 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Pan Xiaofei, Yang Zhiming, *et al.* 2007. Porphyry Cu (Mo-Au) deposits no related to oceanic-slab subduction: examples from Chinese porphyry deposits in continental settings [J]. *Geoscience*, 21(2): 332~351 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Wang Shuxian, *et al.* 2003b. Re-Os age for molybdenites from the Gangdese porphyry belt in the Tibetan plateau: implication to mineralization duration and geodynamic set-

- ting[J]. Sci. in China( Series D ), 33( 7 ): 609 ~ 618( in Chinese with English abstract ).
- Li Guangming , Pan Guitang , Wang Gaoming , *et al.* 2004. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdise metallogenic belt , Tibet , China[ J ]. Journal of Chengdu University of Technology( Science & Technology Edition ) , 31( 1 ): 22 ~ 27( in Chinese with English abstract ).
- Li Guangming , Rui Zongyao , Wang Gaoming , *et al.* 2005. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metallogenic belt of Tibet and its significance[ J ]. Mineral Deposits , 24( 5 ): 481 ~ 489( in Chinese with English abstract ).
- Li Guangming , Wang Gaoming , Gao Dafa , *et al.* 2002. The tectonic framework and metallogenic systems in southern Gangdise metallogenic belt , Xizang[ J ]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology , 22( 2 ): 1 ~ 7( in Chinese with English abstract ).
- Lowenstern J B , Mahood G A , Rivers M L , *et al.* 1991. Evidence of extreme partitioning of copper into a magmatic vapor phase[ J ]. Science , 252 : 1405 ~ 1408.
- Luo Hongyu , Peng Mingsheng , Huang Yuying , *et al.* 2006. Study on the trace elements in chrysoberyl and alexandrite by SRXRF microprobe techniques[ J ]. Acta Mineralogica Sinica , 26( 1 ): 77 ~ 83( in Chinese with English abstract ).
- Meng Xiangjin. 2004. The metallogeny of the Miocene Gangdese porphyry copper belt in Tibetan collision orogen[ D ]. Institute of Mineral Resources , CAGS( in Chinese ).
- Pan Fengchu , Deng Jun , Yao Peng , *et al.* 2002. The eruptive origins of copper and multi-metal deposits in the skarns in Jiama , Tibet[ J ]. Geoscience , 16( 4 ): 359 ~ 364( in Chinese with English abstract ).
- Pan Fengchu , Su Dengkui , Yao Peng , *et al.* 1997. Geological features of Jiama Sedimentary-exhalation skarn-type copper polymetallic deposit in Xizang[ J ]. Xizang Geology , 18( 2 ): 62 ~ 73( in Chinese with English abstract ).
- Pearce N J G , Perkins W T , Westgate J A , *et al.* 1997. A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference material[ J ]. Geostandards Newsletter : The Journal of Geostandards and Geoanalysis , 21( 1 ): 115 ~ 144.
- Peng Yongmin , Yao Peng and Li Jingao. 2001. Upper Jurassic-Cretaceous sequence stratigraphy and mineralization in the Jiama copper-multi-metallic mining area of Tibet[ J ]. Geological Review , 47( 6 ): 584 ~ 589( in Chinese with English abstract ).
- Qu Xiaoming , Hou Zengqian , Guo Lianjie , *et al.* 2004. Source compositions and crustal contaminations of adakitic ore-bearing porphyries in the Gangdise copper belt : Nd , Sr , Pb and O isotope constraints [ J ]. Acta Geologica Sinica , 78( 6 ): 813 ~ 821( in Chinese with English abstract ).
- Qu Xiaoming , Hou Zengqian and Huang Wei. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second " Yulong " copper belt[ J ]? Mineral Deposits , 20( 4 ): 355 ~ 366( in Chinese with English abstract ).
- Qu Xiaoming , Xin Hongbo and Xu Wenyi. 2007. Petrogenesis of the ore-hosting volcanic rocks and their contribution to mineralization in Xiongcu superlarge Cu-Au deposit , Tibet[ J ]. Acta Geologica Sinica , 81( 7 ): 964 ~ 971( in Chinese with English abstract ).
- Ren Yunsheng , Zhang Jinshu , Fan Wenyu , *et al.* 2002. Prospective forecasting of Jiama copper-polymetallic ore deposit , Tibet[ J ]. Geology and Prospecting , 38( 5 ): 30 ~ 32( in Chinese with English abstract ).
- She Hongquan , Feng Chengyou , Zhang Dequan , *et al.* 2005. Characteristics and metallogenic potential of skarn copper-lead-zinc polymetallic deposits in central eastern Gangdese[ J ]. Mineral Deposits , 24( 5 ): 508 ~ 520( in Chinese with English abstract ).
- Tang Yunhui , Han Chunming , Bao Zengkuan , *et al.* 2005. SRXRF analysis of apatite crystal and its fluid inclusion[ J ]. Nuclear Techniques , 28( 8 ): 580 ~ 582( in Chinese with English abstract ).
- Wedepohl K H. 1995. The composition of the continental crust[ J ]. Geochim Cosmochim Acta , 59( 7 ): 1217 ~ 1232.
- Wu Chunxue , Huang Yuying , Yang Chun , *et al.* 2002. Nondestructive analysis of individual fluid inclusion based on SRXRF and its application in oil geology[ J ]. Nuclear Techniques , 25( 10 ): 793 ~ 798( in Chinese with English abstract ).
- Yao Peng and Du Guangshu. 1999. The geochemistry and origin of the host rocks in the Jiama polymetallic ore deposit , Xizang [ J ]. Tethyan Geology , 14( 6 ): 46 ~ 57( in Chinese with English abstract ).
- Yao Peng , Gu Xuexiang , Li Jingao , *et al.* 2006. Characteristics and origin significance of ore-forming fluid from the Jiama stratabound skarn deposit located in Gandise volcanic-magmatic arc , Tibet , China[ J ]. Journal of Chengdu University of Technology ( Science & Technology Edition ) , 33( 3 ): 285 ~ 293( in Chinese with English abstract ).
- Yin J , Xu J , Liu C , *et al.* 1988. The Tibetan Plateau : Regional Stratigraphic Context and Previous Work[ M ]. London : Phil Trans. Roy. Soc. Lond. A327 : 5 ~ 52.
- Yu Fusheng , Yuan Wanming , Han Song , *et al.* 2004. Measurements of trace elements in melt inclusions by synchrotron radiation X-ray fluorescence microprobe techniques[ J ]. High Energy Physics and Nuclear Physics , 28( 6 ): 675 ~ 678( in Chinese with English abstract ).
- Yuan Wanming , Hou Zengqian , Li Shengrong , *et al.* 2001. Fission track evidence on thermal history of Jiama polymetallic ore district , Tibet[ J ]. Sci. in China( Series D ), 31( S1 ): 117 ~ 121( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Qiling , Qu Xiaoming , Xu Wenyi , *et al.* 2003. Study of the fluid inclusions from Nanmu porphyry Cu-Mo deposit in Tibet[ J ]. Acta Petrologica Sinica , 19( 2 ): 251 ~ 259( in Chinese with English abstract ).
- Zheng Youye , Wang Baosheng , Fan Zihui , *et al.* 2002. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdese mountains , Tibet and the metallogenic potentialities of copper gold polymetallic [ J ]. Geol. Sci. & Technol. Infor. , 21( 2 ): 55 ~ 60( in Chinese with English abstract ).

## 附中文参考文献

- 杜光树,姚鹏,潘凤雏,等. 1998. 喷流成因矽卡岩与成矿——以西藏甲马铜多金属矿床为例[M]. 成都:四川科学技术出版社.
- 冯孝良,管仕平,牟传龙,等. 2001. 西藏甲马铜多金属矿床的岩浆热液交代成因:地质与地球化学证据[J]. 地质地球化学, 29(4):40~48.
- 韩吟文,马振东,张宏飞,等. 2003. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 45~47.
- 侯增谦,吕庆田,王安建,等. 2003b. 初论陆-陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例[J]. 矿床地质, 22(4):319~334.
- 侯增谦,潘小菲,杨志明,等. 2007. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. 现代地质, 21(2):332~351.
- 侯增谦,曲晓明,王淑贤,等. 2003a. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄:成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学(D辑), 33(7):609~618.
- 李光明,王高明,高大发,等. 2002. 西藏冈底斯南缘构造格架与成矿系统[J]. 沉积与特提斯地质, 22(2):1~7.
- 李光明,芮宗瑶,王高明,等. 2005. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 24(5):481~489.
- 李光明,潘桂棠,王高明,等. 2004. 西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评价与展望[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 31(1):22~27.
- 罗红宇,彭明生,黄宇营,等. 2006. 金绿宝石和变石中的微量元素研究[J]. 矿物学报, 26(1):77~83.
- 孟祥金. 2004. 西藏碰撞造山带冈底斯中新世斑岩铜矿成矿作用研究[博士学位论文[D]]. 中国地质科学院矿产资源研究所.
- 潘凤雏,邓军,姚鹏,等. 2002. 西藏甲马铜多金属矿床夕卡岩的喷流成因[J]. 现代地质, 16(4):359~364.
- 潘凤雏,栗登奎,姚鹏,等. 1997. 西藏甲马喷流矽卡岩型铜多金属矿床地质特征[J]. 西藏地质, 18(2):62~73.
- 彭勇民,姚鹏,李金高. 2001. 西藏甲马铜多金属矿区上侏罗统一白垩系层序地层与成矿[J]. 地质论评, 47(6):584~589.
- 曲晓明,侯增谦,国连杰,等. 2004. 冈底斯铜矿带埃达克质含斑岩的源区组成与地壳混染:Nd, Sr, Pb, O 同位素约束[J]. 地质学报, 78(6):813~821.
- 曲晓明,侯增谦,黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. 矿床地质, 20(4):355~366.
- 曲晓明,辛洪波,徐文艺. 2007. 西藏雄村特大型铜金矿床容矿火山岩的成因及其对成矿的贡献[J]. 地质学报, 81(7):964~971.
- 任云生,张金树,范文玉,等. 2002. 西藏甲马铜多金属矿床远景预测[J]. 地质与勘查, 38(5):30~32.
- 余宏全,丰成友,张德全,等. 2005. 西藏冈底斯中东段矽卡岩铜-铅-锌多金属矿床特征及成矿远景分析[J]. 矿床地质, 24(5):508~520.
- 汤云晖,韩春明,保增宽,等. 2005. 磷灰石及其流体包体 SR-XRF 分析[J]. 核技术, 28(8):580~582.
- 郭春学,黄宇营,杨春,等. 2002. 基于 SR-XRF 的单个流体包裹体无损分析及其在石油地质中的应用[J]. 核技术, 25(10):793~798.
- 姚鹏,杜光树. 1999. 西藏甲马多金属矿床容矿岩石的地球化学特征及其成因初步研究[J]. 特提斯地质, 1:46~57.
- 姚鹏,顾雪祥,李金高,等. 2006. 甲马铜多金属矿床层控矽卡岩流体包裹体特征及其成因意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 33(3):285~293.
- 于福生,袁万明,韩松,等. 2004. 同步辐射 X 射线荧光微探针技术测定熔融包裹体中的微量元素[J]. 高能物理与核物理, 28(6):675~678.
- 袁万明,侯增谦,李胜荣,等. 2001. 西藏甲马多金属矿区热历史的裂变径迹证据[J]. 中国科学 D 辑, 31(S1):117~121.
- 张绮玲,曲晓明,徐文艺,等. 2003. 西藏南木斑岩铜钼矿床的流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 19(2):251~259.
- 郑有业,王保生,樊子瑋,等. 2002. 西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析[J]. 地质科技情报, 21(2):55~60.