

文章编号:0258-7106 (2010) 02-0195-12

## 冈底斯造山带两套不同成矿体系的含矿斑岩对比研究\*

杨勇<sup>1,2</sup>, 罗泰义<sup>1\*\*</sup>, 杨竹森<sup>3</sup>, 黄智龙<sup>1</sup>, 田世洪<sup>3</sup>, 钱志宽<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要** Cu(Mo、Au)矿化和 Pb-Zn-Ag 矿化分别是冈底斯成矿带南缘和北缘最重要的成矿作用,目前在冈底斯南缘发现了长达 350 km、宽 40 km 的斑岩铜矿带,对该成矿带铜矿化及相关斑岩已有深入研究,而北缘的 Pb-Zn-Ag 矿化及相关斑岩还刚为人们所认识。纳如松多银铅锌矿是冈底斯北缘 Pb-Zn-Ag 矿化带的典型矿床之一,并出露未风化的斑岩。与冈底斯南部铜矿带斑岩相比较,纳如松多斑岩具有高 Si,低 Ti、Ca、Mg 和极度贫 Na 的特点;总体上富集 Th、U 等大离子亲石元素,而 Ba、Sr、P 等元素则明显亏损;稀土元素配分模式为略微右倾的燕型模式,轻、重稀土元素分异不明显,具有明显的 Eu 负异常。纳如松多斑岩与林子宗群典中组火山岩在空间上和时间内具有非常紧密的联系,整体上也具有较为相似的地球化学特征,应与典中组火山岩具有相同的岩浆起源,即主碰撞期后仍然残留的新特提斯洋板片及卷入的陆源沉积物的部分熔融形成的原始岩浆;原始岩浆经过约 75% 的斜长石分离结晶后,在主碰撞期典中组火山岩喷发后上侵形成纳如松多斑岩。

**关键词** 地球化学;斑岩;纳如松多银铅锌矿床;典中组火山岩;冈底斯;西藏

**中图分类号**:P618.42;P618.43;P618.52

**文献标志码**:A

### A comparison of porphyries between Pb-Zn-Ag metallogenic system and Cu-Mo-Au metallogenic system in Gangdese orogen, Tibet

YANG Yong<sup>1,2</sup>, LUO TaiYi<sup>1</sup>, YANG ZhuSen<sup>3</sup>, HUANG ZhiLong<sup>1</sup>, TIAN ShiHong<sup>3</sup> and QIAN ZhiKuan<sup>1,2</sup>

(1 State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

#### Abstract

Two important polymetallic ore belts, i. e., Cu-Mo-Au ore belt and Pb-Zn-Ag ore belt, occur respectively in the southern part and the northern part of Gangdese orogen, south Tibet. Much research work has been devoted to the Cu-Mo-Au ore-forming process and related porphyry in southern Gangdese, but researches on the Pb-Zn-Ag polymetallic ore belt in northern Gangdese remain very insufficient. The Narusongduo ore deposit is one of the representative ore deposits in the Pb-Zn-Ag polymetallic ore belt, with outcrop of fresh porphyry. Compared with the porphyry in southern Gangdese, Narusongduo porphyry is characterized by enriched Si, lower Ti and depleted Ca, Mg and Na, as well as enriched Th and U and relatively depleted Ba, Sr and P. The Narusongduo porphyry also shows inconspicuous fractionation of LREE/HREE and distinct negative Eu anomaly. The Narusongduo porphyry is similar to Linzi-zong volcanic rocks of Dianzhong Formation in geochemical features and has close spatial-temporal relationship with the latter, suggesting that they have the same magmatic origin, with their magma derived from the partial melting of the subducted Neo-Tethyan

\* 本文得到国家支撑计划项目(2006BAB01A04)和国家自然科学基金项目(40672053,40603013)的联合资助

第一作者简介 杨勇,男,1981年生,博士生,矿床地球化学专业。Email: yytmm1021@163.com

\*\*通讯作者 罗泰义,男,1968年生,博士,副研究员,主要从事矿床地球化学研究。Email: luotaiyi@vip.gyig.ac.cn

收稿日期 2009-10-25; 改回日期 2009-11-28。李德先编辑。

oceanic slab and sediments during the Indo-Asian collision. Moreover, through crystal fractionation of 75% plagioclase, the original magma formed the Narusongduo porphyry.

**Key words:** geochemistry, porphyry, Narusongduo Ag-Pb-Zn ore deposit, volcanic rocks of Dianzhong Formation, Gandese, Tibet

近年来,冈底斯造山带矿产勘查评价工作取得了重大进展,在冈底斯南缘发现了长达 350 km,宽 40 km 的斑岩铜矿带(曲晓明等,2001),包括驱龙、甲马、冲江、官厅等大型矿床,以及一系列中、小型矿床和矿化点(孟祥金,2004),成为中国重要的斑岩铜矿带。已有众多学者对铜矿带斑岩的地球化学特征(Hou et al., 2004a; 2009; Qu et al., 2004a; 2007; 侯增谦等,2003a; 2005; 曲晓明等,2004b)、成岩及成矿年代(侯增谦等,2003b; 李光明等,2004a; 林武等,2004; 曲晓明等,2003)、成岩构造环境和成矿作用(Hou et al., 2009; 侯增谦等,2004b; 2005; 2006a; 2006b; 李光明等, 2004b; 芮宗瑶等,2003; 2004; 王全海等,2002)等进行了较为深入的研究,认为斑岩主要形成于中新世,集中分布于冈底斯带南部,以发育铜、钼、金矿化为主,成矿背景为印度-亚洲大陆碰撞后期的伸展环境,明显不同于岛弧带与大陆边缘带。

随后,在冈底斯成矿带的北缘发现了较多的以银铅锌矿化为主的矿床(矿化点),如纳如松多、帮浦、新嘎果、夏龙等(侯增谦,2006a; 孟祥金等,2007),它们构成了一条与南缘的

斑岩铜矿带平行分布的银铅锌多金属成矿带,目前为止,对该带的成矿作用及成矿背景还缺乏深入的研究。纳如松多银铅锌矿床位于冈底斯北缘的银铅锌多金属矿带中段(图 1),是该带的典型矿床之一,其 I 号矿区为隐爆角砾岩型银铅矿,III 号矿区则发育与斑岩相关的矽卡岩型铅锌矿,并出露未风化的斑岩,是该带成矿作用及成矿背景的主要研究对象。

本文通过对纳如松多矿床与成矿相关的斑岩的岩石地球化学研究,并与冈底斯铜矿带的斑岩进行对比分析,探讨两套不同成矿体系的斑岩在类型、源区及构造环境上的差异,以期为冈底斯银铅锌矿带的成因研究和找矿勘探提供一些有益的参考。

### 1 地质背景

拉萨地块自晚三叠世从印度板块分离以来(Yin et al., 2000),相继经历了侏罗纪岛弧造山、白垩纪陆缘弧叠加、古近纪碰撞造山、新近纪岩浆-变形等构造岩浆事件,形成了现今

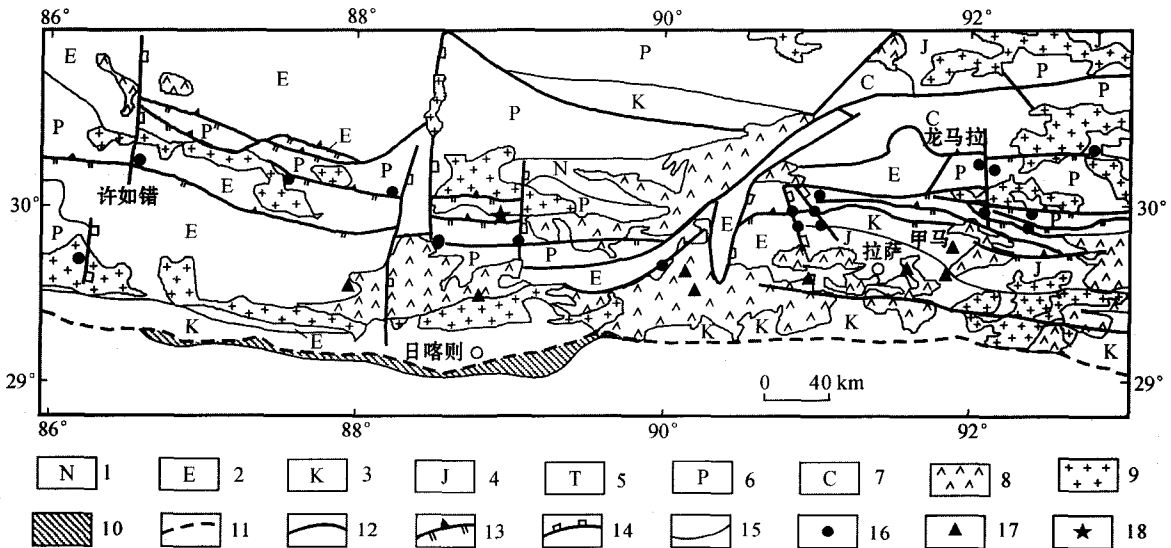


图 1 西藏冈底斯带银多金属矿带地质略图(据侯增谦等,2006a 修改)

- 1—新近系; 2—古近系; 3—白垩系; 4—侏罗系; 5—三叠系; 6—二叠系; 7—石炭系; 8—喜马拉雅期花岗岩; 9—燕山期花岗岩;
- 10—蛇绿岩; 11—缝合带; 12—断层; 13—逆冲断裂; 14—张性构造; 15—地质界线; 16—银多金属矿床; 17—冈底斯造山带斑岩铜矿;
- 18—纳如松多银铅锌矿

Fig. 1 Simplified geological map of the Gangdise Ag-polymetallic ore belt in Tibet (after Hou et al., 2006a)

- 1—Eocene; 2—Paleogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic; 5—Triassic; 6—Permian; 7—Carboniferous; 8—Himalayan granite; 9—Yanshanian granite; 10—Ophiolite; 11—Suture zone; 12—Fault; 13—Thrust fault; 14—Tension fault; 15—Geological boundary; 16—Silver polymetallic deposit; 17—Gandese porphyry copper deposit; 18—Narusongduo silver-lead-zinc deposit

厚达70~80 km的巨厚地壳和长达1500 km的冈底斯岩浆带(侯增谦等,2005)。冈底斯岛弧花岗岩带岩浆活动有2个高峰期,即55~45 Ma和30~24 Ma(Harrison et al., 1999; Shares et al., 1984),分别与印度-亚洲大规模碰撞和冈底斯逆冲断裂活动的时间相对应(Yin et al., 1994; 2000)。火山岩以喜马拉雅期为主,主要为一套中酸性火山熔岩及火山碎屑岩。冈底斯岩基主要形成于60~40 Ma左右(Mo et al., 2008; 莫宣学等,2007a),分布于雅鲁藏布江缝合带以北,其性质属于I型花岗岩。冈底斯岩基与其同时代的林子宗群火山岩具有相似的地球化学特征,两者具有相同的起源,有可能是已俯冲的新特提斯洋壳板片及卷入的陆源沉积物的部分熔融的产物(莫宣学等,2006)。

林子宗火山岩是西藏冈底斯地区典型的新生代火山岩,自下而上依次可分为典中组、年波组和帕那组3个组,主要由玄武安山岩、安山岩、英安岩、粗安岩、钾玄岩、流纹岩和河湖相沉积岩组成(董国臣等,2005), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年结果表明,其年龄介于43.93~64.43 Ma之间(周肃等,2004)。典中组与其下部的设兴组为不整合接触关系,主要由安山岩、英安岩、粗安岩和相应的火山碎屑岩组成,斑晶体积百分数为35%~45%,基质占55%~65%,斑晶矿物主要为斜长石(约占30%~45%),其次具有少量的角闪石斑晶(约占5%左右)(Mo et al., 2007b)。

冈底斯铜矿带斑岩侵入体整体上呈东西向平行于冈底斯逆冲断裂展布,局部南北成串,沿南北向的正断层分布,产于以正断层系统为边界的地堑或裂隙盆地内(侯增谦等,2003c),岩石成岩主要集中在12~16 Ma左右(侯增谦等,2003a)。冈底斯铜矿带斑岩主要为花岗闪长斑岩和二长花岗斑岩,少数样品石英含量较低,为石英二长斑岩。岩石具斑状结构,块状构造;斑晶体积百分数为15%~40%,由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成,部分斑岩中出现角闪石斑晶(曲晓明等,2001)。

## 2 矿区岩石学特征

西藏冈底斯银铅矿带主体位于拉萨地块中部的隆格-工布江达弧背断隆带,与南侧冈底斯-下察隅火山岩弧中的斑岩铜矿带平行展布(图1)。纳如松多银铅矿位于日喀则地区谢通门县东北部,处于冈底斯北缘银铅多金属矿带中段。纳如松多I号矿区围岩为流纹质晶屑凝灰岩,成岩年代为61.7 Ma(杨竹森,未刊资料),应属于林子宗火山岩中的典中组。岩石主要呈灰白色,岩性为晶屑凝灰岩,晶屑主要为石英和长石,晶屑体积百分数约占30%~40%,其余为隐晶质玻屑。矿体为隐爆角砾岩筒,角砾为晶屑凝灰岩,呈棱角状和次棱角状,大小不等;网脉状胶结物主要为硫化物(方铅矿为主,含少量闪锌矿;图2a、b),含少量石英和方解石;矿石蚀变不明显,仅在硫化物网脉胶结凝灰岩的接触部位有较为明显的褪色化。以成矿岩筒为中心,环状、放射状断裂发育,

岩筒向下有变大的趋势。

I号银铅矿床西北方向约3 km的III号矿区发育细斑斑岩和粗斑斑岩,两套斑岩呈过渡关系。斑岩侵位于典中组火山岩与二叠系昂杰组灰岩内,呈岩株状产出(图3)。其中细斑斑岩呈浅灰色、浅肉红色,斑状结构,斑晶主要为石英、钾长石,斑晶粒度小于5 mm,以2 mm左右为主,基质为隐晶质。岩石主要矿物为石英(15%~20%)和钾长石(10%~20%),其余为具隐晶球粒结构的长英质基质。石英斑晶在镜下无色透明,自形-半自形,边缘常被溶蚀呈浑圆状或港湾状,其中可见大量熔融包裹体及矿物包裹体(图2c)。钾长石呈半自形到自形,部分呈板状、柱状,大部分发生伊利石化。粗斑斑岩亦呈浅灰色、浅肉红色,斑状结构。斑晶主要为石英、钾长石,斑晶粒度最大可达5 mm,常见1~2 mm级的斑晶,基质为隐晶质。岩石主要矿物为石英(20%~25%)、钾长石(10%~20%)、黄铁矿(5%~10%),其余为具细晶结构的长英质基质。与细斑斑岩相比,粗斑斑岩的主要特征是:①斑晶粒度明显增大;②石英斑晶中的熔融包裹体及矿物包裹体明显减少(图2d,注意尺度变化);③粗斑斑岩中常见不均一的富含细晶黄铁矿的团斑,约占10%~15%(图2e),背散射观察显示团斑中除黄铁矿外还含有较为丰富的锐钛矿,边缘常见锆石和独居石等矿物(图2f)。

## 3 岩石地球化学

所分析的样品均选自野外未风化的细斑斑岩,经显微镜下鉴定,长石均发生蚀变,但基质蚀变程度较小,岩石基本保留了其原始特征。其常量元素及稀土元素的分析由澳实分析检测(广州)有限公司采用XRF与ICP-MS方法完成,分析结果见表1。

### 3.1 常量元素

纳如松多斑岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 较高,在78.50%~84.70%之间,平均为80.98%,为 $\text{SiO}_2$ 过饱和岩类; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 在9.72%~12.70%之间,平均为11.71%; $w(\text{K}_2\text{O})$  2.60%~3.60%,平均为3.21%; $w(\text{CaO})$ 较低,0.03%~0.81%,平均0.22%; $w(\text{TiO}_2)$  0.07%~0.09%,平均0.08%; $w(\text{Na}_2\text{O})$ 极低,0.03%~0.05%,平均为0.04%; $w(\text{TFe})$ 和 $w(\text{MgO})$ 明显偏低,平均分别为0.49%(0.07%~0.76%)和0.33%(0.15%~0.42%)。斑岩具有富 $\text{SiO}_2$ 、中 $\text{K}_2\text{O}$ 、低 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 和 $\text{MgO}$ 以及极低 $\text{Na}_2\text{O}$ 的特点。

冈底斯南部的铜矿带斑岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 较低,61.41%~76.93%,平均为68.08%; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  10.96%~17.15%,平均为15.02%; $w(\text{CaO})$  0.34%~4.07%,平均为2.664%; $w(\text{TiO}_2)$  0.13%~0.58%,平均0.40%; $w(\text{K}_2\text{O})$  2.12%~8.58%,平均为4.18%; $w(\text{Na}_2\text{O})$  0.38%~5.11%,平均为3.73%; $w(\text{TFe})$ 和 $w(\text{MgO})$ 平均值分别为3.23%(0.78%~4.00%)和1.12%(0.45%~1.93%)。除 $w(\text{SiO}_2)$ 明显低于纳如松多斑岩外, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 、

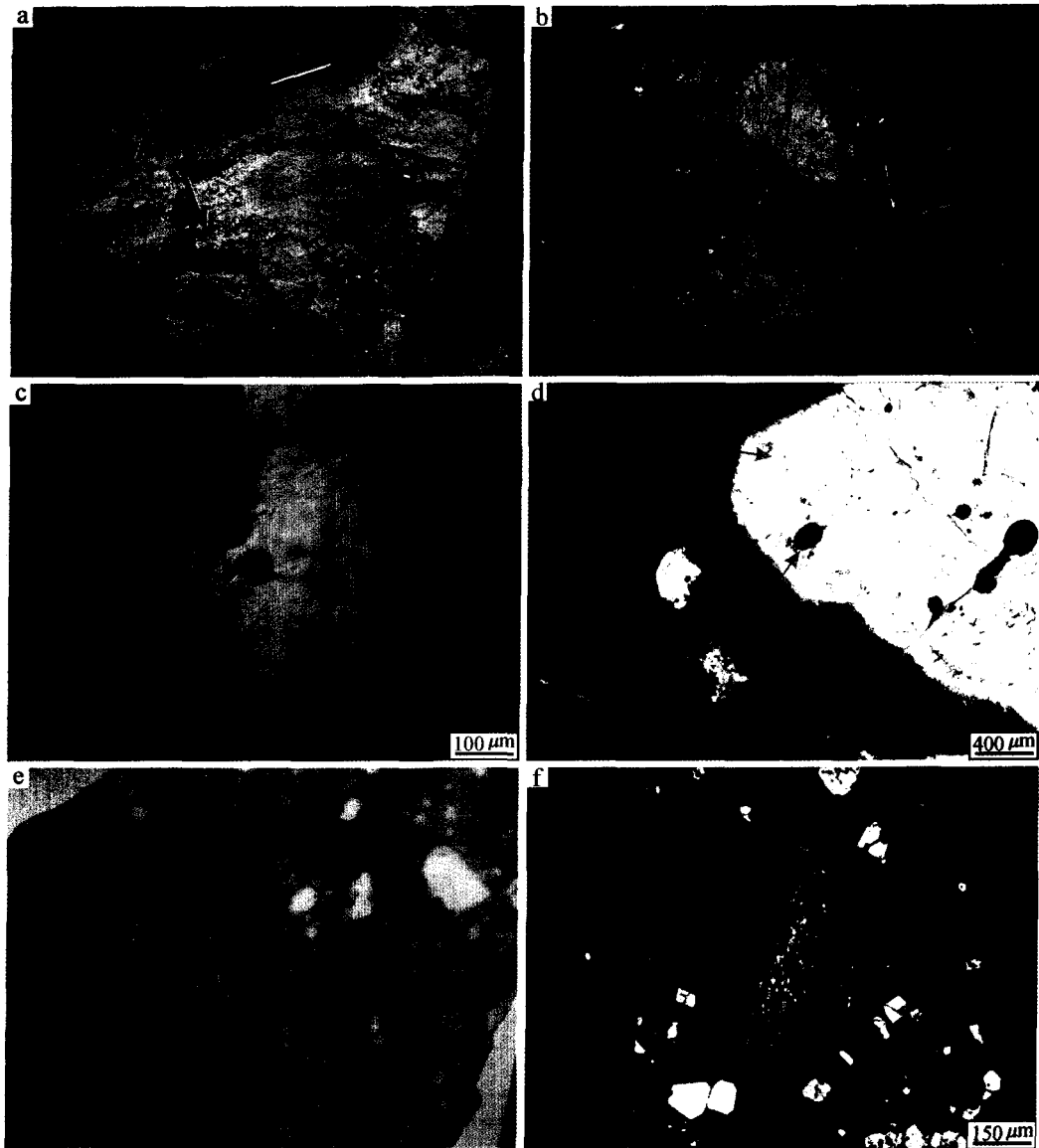


图2 纳如松多银铅锌矿床斑岩和矿石特征照片

a. 矿石野外照片; b. 坑道中的方铅矿脉照片; c. 细斑斑岩石英斑晶中熔融包裹体; d. 粗斑斑岩石英斑晶中熔融包裹体; e. 粗斑斑岩中的黄铁矿团斑; f. 粗斑斑岩中黄铁矿团斑的背散射照片

Fig. 2 Photograph of ore and mineral in the Narusongduo silver-lead-zinc deposit

a. Ore from No. 1 ore district; b. Vein in ore from No. 1 ore district; c. Melt inclusions in quartz phenocryst of fine porphyry; d. Melt inclusions in quartz phenocryst of coarse porphyry; e. Pyrite lump in coarse porphyry; f. BSE picture of pyrite lump in coarse porphyry

$w(\text{Na}_2\text{O})$ 以及  $w(\text{TFe})$ 和  $w(\text{MgO})$ 均高于纳如松多斑岩(见表1)。

### 3.2 微量元素

由纳如松多斑岩对原始地幔标准化微量元素蛛网图(图4a)可以看出,斑岩总体富集Rb、Th、U等大离子亲石元素,而Ba、Sr、P、Ti等元素则明显亏损;稀土元素总量较低( $81.20 \times 10^{-6} \sim 117.27 \times 10^{-6}$ ),轻、重稀土元素分异不明显[(La/Yb)<sub>N</sub>值为2.44~3.82],强Eu负异常( $\delta\text{Eu}$ 为0.14~0.29),

在球粒陨石标准化的稀土元素配分模式图(图4b)中,表现为略微右倾的燕型模式。

冈底斯铜矿带各个矿区斑岩原始地幔标准化后具有相似的微量元素分布曲线,反映斑岩经历了相似的起源和演化。在其平均值的微量元素蛛网图(图4a)中,冈底斯铜矿带斑岩表现为明显右倾的配分模式,明显富集Pb和亏损Nb、Ta,与纳如松多斑岩相比,没有明显的Ba、Sr、Ti亏损。冈底斯铜矿带斑岩稀土元素总量与纳如松多斑岩稀土元素总量相近(平

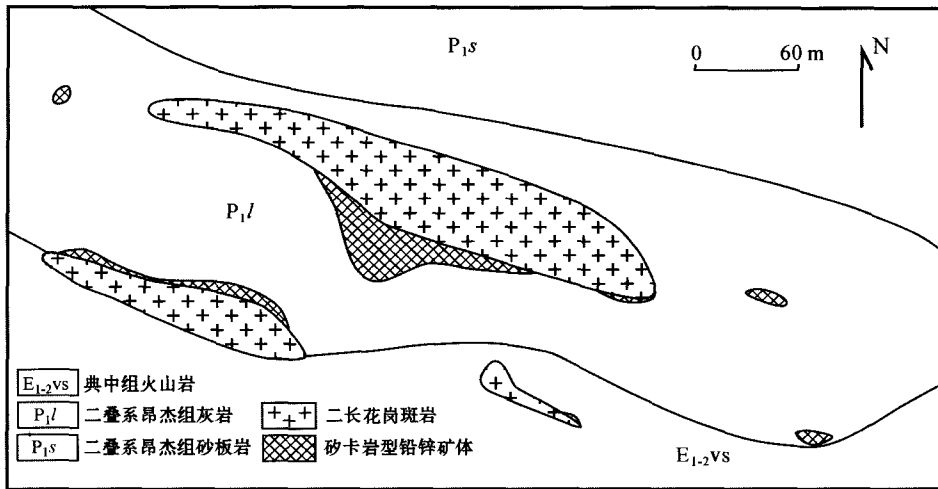


图 3 纳如松多Ⅲ号矿区地质简图

Fig. 3 Geological sketch map of Narusongduo No. III ore district

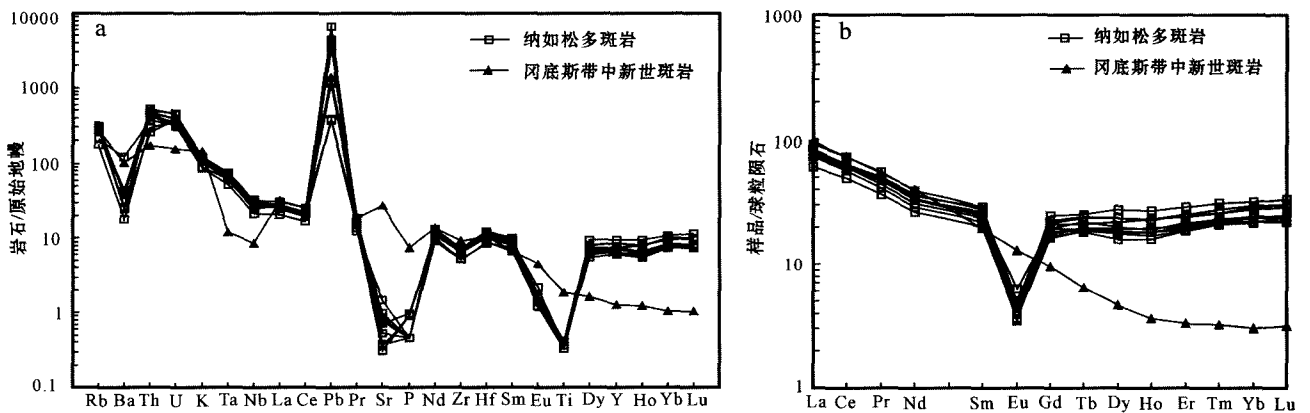


图 4 纳如松多斑岩原始地幔标准化微量元素蛛网图(a)和球粒陨石 REE 配分模式图(b)

冈底斯铜矿带斑岩数据引自 Qu et al., 2007; 2004b; Hou et al., 2009; 侯增谦等, 2003a; 2005; 林武, 2005; 孟祥金, 2004; 曲晓明等, 2001

Fig. 4 Primitive mantle normalized spider diagrams of porphyries from the Narusongduo ore district(a)and chondrite-normalized

REE patterns of porphyries from the Narusongduo ore district(b)

Data of the Gangdese porphyry copper belt from Qu et al., 2007; 2004b; 2001; Hou et al., 2003a; 2005; Lin, 2005; Meng, 2004

均值分别为  $98.43 \times 10^{-6}$  和  $99.94 \times 10^{-6}$ ),但是配分模式却具有明显区别:冈底斯铜矿带斑岩表现为 LREE 与 HREE 强烈分异  $[(La/Yb)_N \text{ 平均值为 } 29.31]$ , 稀土元素配分曲线为具较大斜率的右倾的 LREE 富集型(图 4b), 弱的负 Eu 异常或不具有 Eu 异常, 为平滑的右倾模式。

### 4 讨论

#### 4.1 斑岩类型

据前人资料(Qu et al., 2007; 2004b; Hou et al., 2009; 侯增谦等, 2003a; 2005; 林武, 2005; 孟祥金, 2004; 曲晓明等,

2001),冈底斯铜矿带斑岩普遍富碱,其  $w(K_2O + Na_2O)$  为 5.5%~10.9%,绝大部分在 7%~8%之间;岩石的里特曼指数( $\delta$ )为 1.05~4.73,大部分在 2~4 之间;碱度率(AR 值)在 1.35~4.94 之间,属于碱性岩-钙碱性岩;分异指数(DI)变化较大,在 71~92.25 之间;在  $SiO_2-K_2O$  图(图 5a)中,表现为高钾钙碱性岩和钾玄岩系列。冈底斯铜矿带斑岩具有较高的  $w(Sr)$  ( $118 \times 10^{-6} \sim 1066 \times 10^{-6}$ ),绝大部分样品的  $w(Sr)$  大于  $400 \times 10^{-6}$ ,平均值为  $554.37 \times 10^{-6}$ ,高 Sr/Y 值的特点显示其具有埃达克岩的亲性和(Hou et al., 2004a),在 Sr/Y-Y 图(图 5b)中全部落入埃达克岩区域,但与典型的埃达克岩不同的是,冈底斯铜矿带斑岩明显富  $K_2O$ (孟祥金, 2004)。

表1 纳如松多斑岩的主量元素(%)及微量元素( $10^{-6}$ )组成  
Table 1 Major(%) and trace element ( $10^{-6}$ ) composition of Narusongduo porphyry

分析项目	斑岩										纳如松 多斑岩*	冈底斯铜 矿带斑岩*	典中组 火山岩*
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	08NRSD -1-1	08NRSD -1-2	NDBP6 -1	NDBP6 -2			
SiO <sub>2</sub>	81.20	84.70	79.50	78.50	80.40	79.60	80.60	80.70	80.47	84.11	80.98	68.08	62.81
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.07	0.08	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.40	0.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.10	9.72	12.70	12.50	11.50	11.95	12.15	12.20	12.70	10.62	11.71	15.02	15.84
TFe*	0.69	0.61	0.68	0.76	0.58	0.52	0.37	0.43	0.21	0.07	0.49	3.23	6.61
MnO	0.08	0.01	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.06	0.18
MgO	0.42	0.27	0.35	0.34	0.33	0.34	0.37	0.36	0.39	0.15	0.33	1.12	2.13
CaO	0.81	0.10	0.13	0.30	0.36	0.14	0.06	0.20	0.05	0.03	0.22	2.64	3.50
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	3.73	3.08
K <sub>2</sub> O	3.23	2.60	3.35	3.39	3.13	3.27	3.58	3.60	3.56	2.70	3.24	4.18	2.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.17	0.22
烧失量	3.08	1.82	2.18	2.66	2.65	2.19	2.34	2.43	2.20	1.83	2.34		
总量	100.50	100.00	99.10	98.60	99.10	98.20	99.70	100.00	99.77	99.68	99.47		
Rb	196.50	133.50	184.00	184.50	172.00	181.00	185.00	189.00	184.00	113.00	172.25	171.33	59.38
Ba	287.00	833.00	309.00	181.00	182.00	283.00	270.00	300.00	169.00	127.00	294.10	697.30	447.27
Th	36.40	31.20	41.60	40.50	37.20	37.20	39.10	44.20	22.00	25.10	35.45	14.09	9.19
U	6.44	6.54	9.66	7.96	6.72	7.03	8.06	9.09	7.84	7.49	7.68	3.13	1.78
Ta	2.40	2.10	2.70	2.70	2.40	2.40	2.90	3.10	2.80	2.50	2.60	0.50	0.53
Nb	18.80	15.30	20.80	22.80	17.70	19.90	21.80	23.20	22.60	23.50	20.64	6.12	7.62
Sr	11.30	31.20	20.50	17.30	16.40	18.00	7.30	7.90	14.90	6.40	15.12	554.37	461.73
Hf	3.40	2.70	3.50	3.90	3.40	3.60	3.60	3.90	3.10	2.60	3.37	3.16	4.19
Zr	76.00	57.00	80.00	82.00	73.00	73.00	75.00	82.00	74.00	60.00	73.20	100.06	171.45
Cu	31.00	14.00	7.00	9.00	8.00	7.00	52.00	57.00	<5	<5	23.13	452.90	
Co	84.30	82.30	68.50	64.00	68.70	66.60	67.50	83.10	59.70	142.00	78.67	8.43	
Ni	23.00	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	23.00	13.59	
Sn	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.50	1.52	
Pb	310.00	255.00	250.00	300.00	474.00	310.00	27.00	80.00	85.00	26.00	211.70	95.46	
Zn	852.00	264.00	582.00	521.00	380.00	309.00	347.00	648.00	112.00	34.00	404.90	133.83	
Y	35.60	32.80	38.40	39.00	29.30	27.30	34.50	43.70	33.30	29.00	34.29	6.07	22.87
Zr/Hf**	22.35	21.11	22.86	21.03	21.47	20.28	20.83	21.03	23.87	23.08	21.72	31.76	40.88
Nb/Ta**	7.83	7.29	7.70	8.44	7.38	8.29	7.52	7.48	8.07	9.40	7.94	12.19	14.40
Th/U**	5.65	4.77	4.31	5.09	5.54	5.29	4.85	4.86	2.81	3.35	4.61	4.51	5.17
Rb/Sr**	17.39	4.28	8.98	10.66	10.49	10.06	25.34	23.92	12.35	17.66	11.39	0.31	0.13
K/Rb**	136.40	161.61	151.08	152.46	151.00	149.91	160.58	158.05	160.55	198.27	156.13	201.42	265.50
Nb/Zr**	0.25	0.27	0.26	0.28	0.24	0.27	0.29	0.28	0.31	0.39	0.28	0.06	0.04
Zr/Ti**	0.13	0.38	0.30	0.27	0.24	0.27	0.11	0.10	0.25	0.05	0.15	0.04	0.03
La	18.10	14.40	18.40	21.60	19.50	19.50	19.30	18.10	18.00	17.10	18.40	22.00	25.03
Ce	36.30	29.70	37.70	44.30	38.10	38.60	38.90	36.90	36.50	34.40	37.14	44.24	54.51
Pr	4.45	3.48	4.48	5.24	4.45	4.44	4.71	4.68	4.19	3.86	4.40	5.01	6.33
Nd	15.80	12.30	15.60	18.20	15.70	15.40	17.00	16.50	14.50	13.40	15.44	18.53	25.20
Sm	3.74	3.03	4.03	4.41	3.84	3.74	4.18	4.43	3.60	3.35	3.84	2.98	5.04
Eu	0.37	0.21	0.26	0.29	0.27	0.28	0.20	0.24	0.27	0.24	0.26	0.75	1.18
Gd	3.97	3.32	4.37	4.55	3.99	3.53	4.30	5.09	3.71	3.64	4.05	1.97	5.51
Tb	0.82	0.69	0.88	0.90	0.72	0.68	0.78	0.95	0.73	0.71	0.79	0.24	0.89
Dy	5.01	4.55	5.90	5.90	4.56	4.07	5.56	6.97	4.94	4.78	5.22	1.22	5.44
Ho	1.08	1.04	1.29	1.27	0.97	0.89	1.30	1.54	1.10	1.03	1.15	0.21	1.12
Er	3.53	3.33	4.19	4.18	3.11	3.07	3.96	4.75	3.41	3.19	3.67	0.57	3.12
Tm	0.58	0.55	0.66	0.70	0.54	0.53	0.65	0.78	0.57	0.53	0.61	0.08	0.45
Yb	4.08	3.98	4.90	4.97	3.73	3.66	4.67	5.33	4.03	3.68	4.30	0.54	2.97
Lu	0.62	0.62	0.76	0.76	0.57	0.61	0.73	0.85	0.60	0.55	0.67	0.08	0.45
ΣREE	98.45	81.20	103.42	117.27	100.05	99.00	106.24	107.11	96.15	90.46	99.94	98.43	137.26
δEu**	0.29	0.20	0.19	0.20	0.21	0.23	0.14	0.15	0.22	0.21	0.20	0.89	0.68
LREE/HREE**	4.00	3.49	3.51	4.05	4.50	4.81	3.84	3.08	4.04	4.00	3.88	18.99	5.88
(La/Yb) <sub>N</sub> **	3.18	2.60	2.69	3.12	3.75	3.82	2.96	2.44	3.20	3.33	3.07	29.31	6.05
(La/Sm) <sub>N</sub> **	3.12	3.07	2.95	3.16	3.28	3.37	2.98	2.64	3.23	3.30	3.10	4.77	3.21
(Gd/Yb) <sub>N</sub> **	0.80	0.69	0.74	0.76	0.88	0.80	0.76	0.79	0.76	0.82	0.78	3.03	1.53

TFe为全铁含量,以Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量代替。球粒陨石和原始地幔标准化采用Sun et al.,1989。\*为平均值;\*\*单位为1。

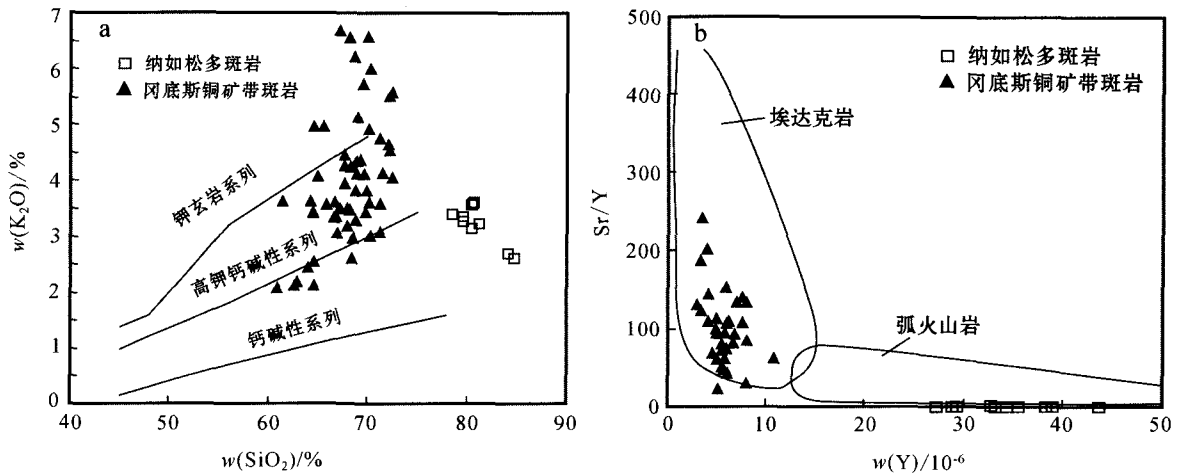


图 5 纳如松多斑岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解(a)和 Sr/Y-Y 图解(b)(底图据 Defand et al., 1990)

Fig. 5 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram of porphyries from the Narusongduo ore district (a) and Sr/Y-Y-YN diagram of porphyries from the Narusongduo ore district (b)(basemap after Defand et al., 1990)

纳如松多斑岩具有极富硅 [  $w(\text{SiO}_2)$  78.5% ~ 84.7% ] 的特征,其碱含量较低,  $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  变化于 2.65% ~ 3.63% 之间;岩石的  $\delta$  为 0.17 ~ 0.35, AR 值较小,为 1.7 ~ 1.84,属于钙碱性岩系列;其铝饱和指数较大,为 2.21 ~ 3.47;具有极高的 K/Na 比值,主要原因是  $w(\text{Na}_2\text{O})$  平均值仅为 0.04%;DI 值为 87.49 ~ 91.64,岩浆具有较高的分异指数。在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图(图 5a)中,斑岩落入钙碱性系列的延伸区域内,明显不同于冈底斯铜矿带斑岩的高钾钙碱性-钾玄岩系列。由于纳如松多斑岩具有极高的  $w(\text{SiO}_2)$  和极低的  $w(\text{Na})$ ,造成许多利用  $w(\text{SiO}_2)$  和碱含量的花岗质岩石的判别图难以应用,无法有效和准确地区分该斑岩的类型。纳如松多斑岩  $w(\text{Sr})$  较低,平均值为  $15.12 \times 10^{-6}$ ,而  $w(\text{Y})$  及  $w(\text{Yb})$  较高(平均值分别为  $34.29 \times 10^{-6}$  和  $4.30 \times 10^{-6}$ ),其 Sr/Y、Sr/Yb 比值极低,在 Sr/Y-Y 图(图 5b)中落入经典岛弧区域边缘或之外,亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti 等和富集 LREE 和 Rb 等大离子亲石元素,但是其极高的  $w(\text{SiO}_2)$  及明显亏损 Ba 都与典型的岛弧火山岩具有一定的区别。

#### 4.2 斑岩源区与演化

矿区典中组火山岩的形成时间为 61.7 Ma(锆石 U-Pb 测年,杨竹森未刊资料),纳如松多 I 号银铅矿呈隐爆角砾岩筒的形式产于典中组中,推测深部存在隐伏的斑岩体,S、Pb 同位素研究也表明,该矿区成矿物质主要来源于斑岩(杨勇等, 2010),代表性成矿蚀变矿物伊利石形成于 57.8 Ma 左右(蚀变伊利石 Ar-Ar 测年,孟祥金未刊资料)。虽然目前暂时没有斑岩具体的成岩年龄,但是由于围岩年龄和成矿年龄的制约,斑岩的成岩年龄应介于 57.8 ~ 61.7 Ma 之间,这与区域广泛分布的典中组火山岩的形成时间(61.7 Ma)十分接近,典中组火山岩代表了印度板块与欧亚板块碰撞的大构造环境,而纳如松多斑岩侵入典中组,成岩时间非常接近,暗示了纳如松多斑岩也形成于相同的大地构造环境,并且与典中组火山岩

具有一定的成因联系。

在相关的 Harker 图(图 6)中,纳如松多斑岩落在典中组火山岩的演化趋势的末端,与典中组火山岩的平均值相比,纳如松多斑岩的  $w(\text{SiO}_2)$  平均值增加了近 18%,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  减少了 4.13%,  $w(\text{TiO}_2)$  降低约 7.6 倍,  $w(\text{MgO})$  降低约 5.5 倍,  $w(\text{TFe})$  降低了 12.5 倍,  $w(\text{CaO})$  和  $w(\text{P}_2\text{O}_5)$  分别降低了 14.9 倍和 21 倍。整体上纳如松多斑岩继承了典中组的演化趋势,但同时具有高硅、低 Ti、Ca、Mg、Na 的特点,表明纳如松多斑岩可能与典中组具有相同的原始岩浆成分,但具体的演化途径不同。

进一步对比可以发现,纳如松多斑岩与典中组火山岩整体上具有极为相似的稀土和微量元素配分模式(图 7),但纳如松多斑岩具有特别明显的 Eu、Sr 负异常和较明显的 Nb、Ta、Th、U 富集。由于 Sr、Eu 和 Ca 晶体化学参数比较接近,所以 Ca、Sr 和 Eu 表现出较为相近的地球化学性质;斜长石是花岗岩中最主要的含 Ca 造岩矿物,根据上述地球化学亲和性,斜长石也是花岗岩中 Sr 和 Eu 的重要载体。同时,斜长石也是岩浆演化过程中分离结晶作用的常见矿物,斜长石的大量分离结晶将造成岩浆中 Ca 与 Na 的贫化,并导致 Sr 和 Eu 的亏损。典中组火山岩含有大量的斜长石斑晶,高达 30% ~ 45%,以及约 5% 左右的角闪石斑晶(Mo et al., 2008),而纳如松多斑岩的主要斑晶矿物为石英和钾长石;根据上述的主量元素和微量元素特征可以推断,纳如松多斑岩与典中组火山岩具有相同的原始岩浆,原始岩浆经历一定的单斜辉石结晶分异后可以形成典中组火山岩,而原始岩浆经历彻底的斜长石分异结晶后(伴随少量角闪石的分异结晶),完全可以形成纳如松多斑岩的极度亏损 Ca、Na、Sr 和 Eu 的特征。

Sr-Rb/Sr 图(图 8a)显示,纳如松多斑岩的 Sr 与 Rb/Sr 呈明显的负相关性,相容元素 Sr 显著降低(Sr 易进入分离结晶的长石中),表明岩浆演化过程中发生了斜长石的结晶分异。

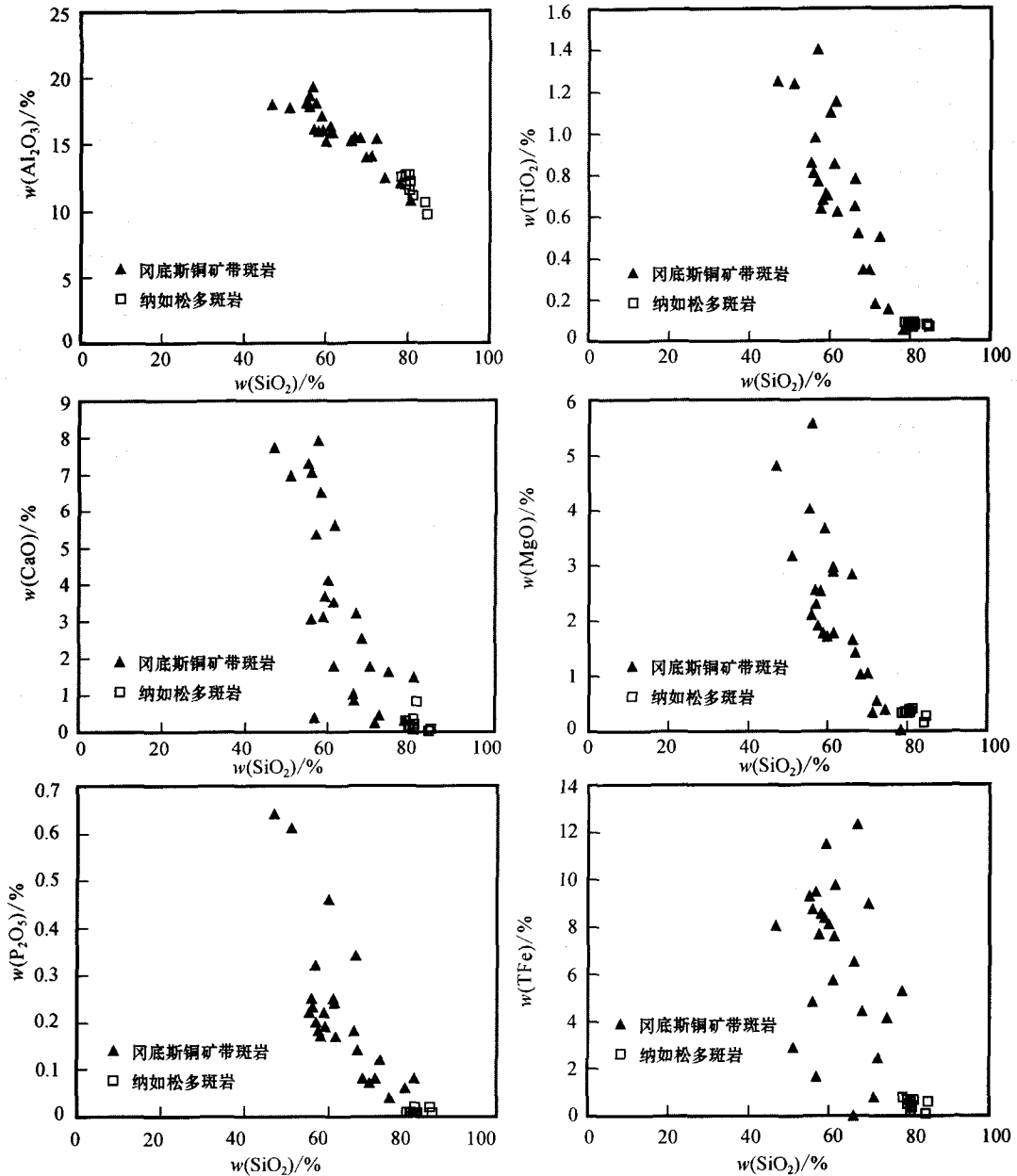


图6 纳如松多斑岩和典中组火山岩的综合 Harker 图解

典中组火山岩数据引自 Mo et al., 2008; 莫宣学等, 2007a; 胡新伟等, 2007; 李再会等, 2008

Fig. 6 Harker diagrams for porphyries from Narusongduo and volcanic rocks of Dianzhong Formation

Data of Dianzhong Formation from Mo et al., 2008; 2007a; Hu et al., 2007; Li et al., 2008

在 Ba-Sr 图(图 8b)(据 Rollinson, 1993)中, 纳如松多斑岩沿斜长石结晶分离作用趋势线分布, 也同样说明斜长石为岩浆演化过程中主要的分离结晶矿物。通过纳如松多斑岩平均值计算, 原始岩浆经过近 75% 左右的斜长石分离结晶可以形成纳如松多斑岩。早期岩浆演化阶段, 由于 U 和 Th 的离子半径大, 很难进入硅酸盐矿物中, 随着岩浆分异演化的进行, Th、U 倾向于岩浆演化晚期富集(平均值分别从典中组的 9.19 和 1.78 增大到纳如松多斑岩的 35.45 和 7.68)。Nb 和 Ta 的地

球化学性质十分接近, 两者主要与 Ti 发生类质同像赋存在含 Ti 矿物中, 由于原始岩浆的  $w(\text{Ti})$  不高(典中组火山岩  $w(\text{TiO}_2)$  平均为 0.40%), 有关的分离结晶作用对岩浆  $w(\text{Nb})$ 、 $w(\text{Ta})$  的影响不大, 所以, 随着岩浆酸度的增高 [ $w(\text{SiO}_2)$  平均值为 80.98%],  $w(\text{Nb})$  和  $w(\text{Ta})$  也随着增大(平均值分别从典中组的  $7.62 \times 10^{-6}$  和  $0.53 \times 10^{-6}$  增大到  $20.64 \times 10^{-6}$  和  $2.60 \times 10^{-6}$ ), 同时 Nb/Ta 比值降低(平均值从典中组的 14.40 下降到 7.94)。



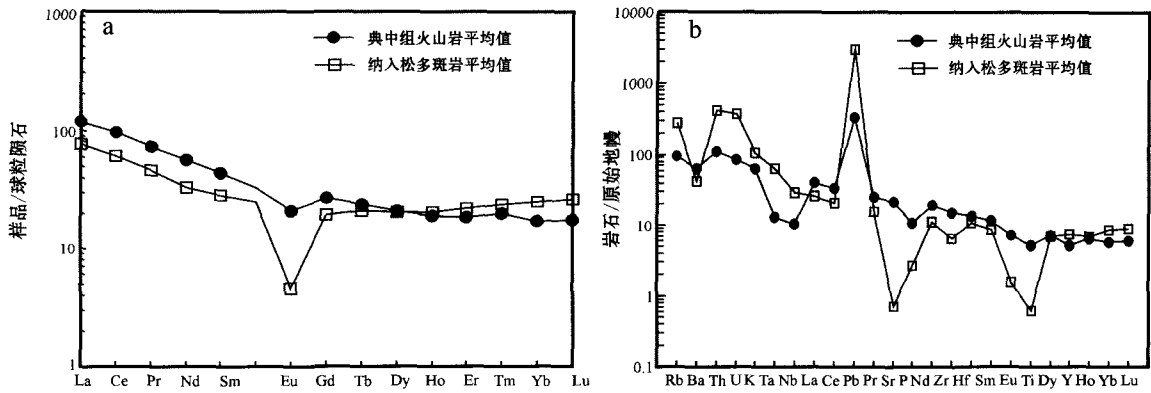


图 7 纳如松多斑岩和典中组火山岩平均值的 REE 配分图(a)和蛛网配分图(b)

典中组火山岩数据引自 Mo et al. , 2008; 2007b; 胡新伟等, 2007; 李再会等, 2008

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of the average values of Narusongduo porphyries and Dianzhong Formation volcanic rocks (a) and primitive mantle normalized spider diagrams of the average values of Narusongduo porphyries and Dianzhong Formation volcanic rocks (b)

Data of Dianzhong Formation from Mo et al. , 2008; 2007b; Hu et al. , 2007; Li et al. , 2008

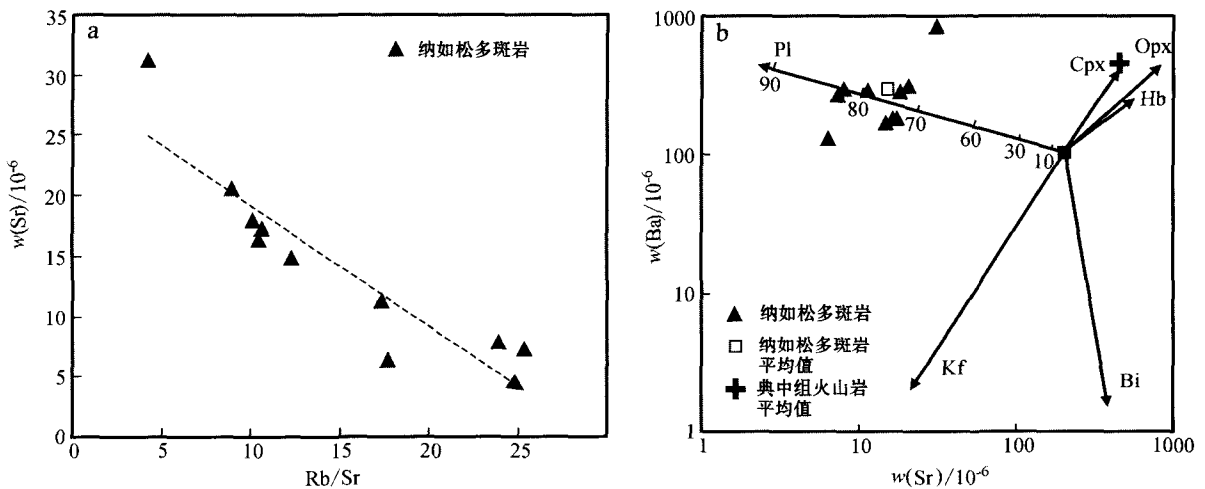


图 8 纳如松多斑岩 Sr-Rb/Sr 图(a)和 Ba-Sr 微量元素判别图(b)

典中组火山岩数据引自 Mo et al. , 2008; 2007b; 胡新伟等, 2007; 李再会等, 2008

Fig. 8 Sr versus Rb/Sr diagram (a) and Ba versus Sr trace element discrimination diagrams (b) of Narusongduo porphyries

Data of Dianzhong Formation from Mo et al. , 2008; 2007b; Hu et al. , 2007; Li et al. , 2008

根据纳如松多斑岩与典中组火山岩的时空关系, 微量元素演化的继承性, 微量元素配分模式的总体相似与差异的原因分析, 可以认为纳如松多斑岩与典中组火山岩具有相同的岩浆起源, 即主碰撞后仍然残留的新特提斯洋板片及卷入的陆源沉积物的部分熔融形成的原始岩浆(莫宣学等, 2006; Mo et al. , 2007b; 2008)。两者是同源岩浆不同演化方式和演化程度的产物: 原始岩浆经过一定量的单斜辉石结晶分异后在主碰撞期喷发形成典中组火山岩; 原始岩浆经过约 75% 的斜长石分离结晶后, 在主碰撞期典中组火山岩喷发后上侵形成纳如松多斑岩。

### 5 结 论

冈底斯南缘铜矿带斑岩的矿化主要以铜铅金为主, 其形成年代主要为中新世, 目前该带已成为中国重要斑岩铜矿带。而冈底斯北缘则发育众多的以银铅锌矿化为主的矿床, 它们构成了一条与斑岩铜矿带近平行分布的银铅锌多金属成矿带, 纳如松多银铅锌矿是该带的典型矿床之一, 相应的纳如松多斑岩从地球化学特征、源区环境及形成年代等方面与冈底斯铜矿带斑岩具有明显的区别。

(1) 纳如松多斑岩的地球化学特征与冈底斯铜矿带斑岩具有明显的区别。纳如松多斑岩具有高 Si、低 Ti、贫 Ca 和 Mg、极度亏损 Na 的特点, 属过铝质高钾质类岩石; 纳如松多斑岩总体上富集 Rb、Th、U 等大离子亲石元素, 而 Ba、Sr、Ti 等元素则明显亏损; 轻重稀土元素分异不明显, 强 Eu 负异常, 稀土元素配分模式为略微右倾的燕型模式。

(2) 纳如松多斑岩与典中组火山岩在空间上和时间内具有非常紧密的联系, 并具有较为相似的地球化学特征, 可以认为纳如松多斑岩与典中组火山岩具有相同的原始岩浆起源, 即主碰撞期后仍然残留的新特提斯洋板片及卷入的陆源沉积物的部分熔融形成的原始岩浆, 但与典中组火山岩具有不同的演化方向和演化程度。

**志 谢** 本文野外工作得到中国地质科学院矿产资源研究所孟祥金研究员的大力帮助和指导, 在此表示衷心感谢!

## References

- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347: 662-665.
- Dong G C, Mo X X, Zhao Z D and Wang L. 2005. A new understanding of the stratigraphic successions of the Linzizong volcanic rocks in the Lhiinzhub basin, northern Lhasa, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 549-557 (in Chinese with English abstract).
- Harrison M T, Grove M and McKeegan K D. 1999. Origin and episodic emplacement of the Manaslu intrusive complex, central Himalaya [J]. *Petrol.*, 40: 3-19.
- Hu X W, Ma R Z, Tao X F, Liu D H and Shi H. 2007. Lithogeochemical characteristics and tectonic setting of volcanic rocks of Dianzhong Formation in the Coqen area, Tibet China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 34(1): 15-22 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Mo X X, Gao Y F, Qu X M and Meng X J. 2003a. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan plateau and in northern Chile[J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 1-11 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Wang S X, Gao Y F, Du A D and Huang W. 2003b. Re-Os age for molybdenite from the Gangdese porphyry-copper belt on Tibetan plateau: Duration of the Cu mineralization and implication for geodynamic setting[J]. *Science in China (Series D)*, 33: 609-618 (in Chinese).
- Hou Z Q, Lu Q T, Wang A J, Li X B, Wang Z Q and Wang E Q. 2003c. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen[J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 319-333 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004a. Origin of adakitic rocks generated during the mid-Miocene east-west extension in south Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 220(1-2): 139-155.
- Hou Z Q, Gao Y F, Meng X J, Qu X M and Huang W. 2004b. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(2): 108-121 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Meng X J, Qu X M and Gao Y F. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constrains from rock phase and deep melting process[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 108-120 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Qu X M, Yang Z S, Meng X J, Li Z Q, Yang Z M, Zheng M P, Zheng Y Y, Nie F J, Gao Y F, Jiang S H and Li G M. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629-651 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, Wang J A, Pan G T, Qu X M and Niu F J. 2006b. Metallogenesis in the collisional orogen of the setting, tempo-spatial distribution Qinghai-Tibet plateau: Tectonic and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 33(3): 340-351 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Yang Z M, Qu X M, Meng X J, Li Z Q, Beaudoin G, Rui Z Y, Gao Y F and Khin Z. 2009. The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan orogen[J]. *Ore Geology Reviews*, 36: 25-51
- Li G M and Rui Z Y. 2004a. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in this Gangdese metallogenic belt, southern Xizang [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 165-170 (in Chinese with English abstract).
- Li G M, Pan G T, Wang G M, Huang Z Y and Gao D F. 2004b. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdese metallogenic belt, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 31(1): 22-27 (in Chinese with English abstract).
- Lin W, Liang H Y, Zhang Y Q and Xie Y W. 2004. Petrochemistry and SHRIMP U-Pb zircon age of the Chongjiang ore-bearing porphyry in the Gangdese porphyry copper belt[J]. *Geochimica*, 3(6): 587-591 (in Chinese with English abstract).
- Lin W. 2005. Studies on the geochemical characteristics and forming processes of the Chongjiang ore-bearing porphyry in the Gangdese copper belt, southern Tibet, China (dissertation for Master degree) [D]. Supervisor: Liang H Y. Beijing: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract).
- Li Z H, Zheng L L, Li J M and Xia X B. 2008. Petrological and geochemical characteristics of the Linzizong volcanic rocks in the central Gangdese area[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(1): 20-27 (in Chinese with English abstract).
- Meng X J. 2004. The Metallogeny of the Miocene Gangdese porphyry copper Belt in Tibetan collisional orogen (dissertation for Doctor degree) [D]. Supervisor: Hou Z Q. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English Abstract).
- Meng X J, Hou Z Q, Ye P S, Yang Z S, Li Z Q and Gao Y F. 2007. Characteristics and ore potentiality of Gangdese silver-polymetallic mineralization belt in Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 26(2): 153-162 (in Chinese with English abstract).

- Mo X X, Zhao Z D, DePaolo D J, Zhou S and Dong G C. 2006. Three types of collisional and post-collisional magmatism in the Lhasa block, Tibet and implications for India intra-continental subduction and mineralization: Evidence from Sr-Nd isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 795-803 (in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Zhao Z D, Zhou S, Dong G C and Liao L Z. 2007a. On the timing of India-Asia continental collision[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1240-1244 (in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Hou Z Q, Niu Y L, Dong G C, Qu X M, Zhao Z D and Yang Z M. 2007b. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet[J]. *Lithos*, 96(1-2): 225-242.
- Mo X X, Niu Y L, Dong G C, Zhao Z D, Hou Z Q, Zhou S and Ke S. 2008. Contribution of syncollisional felsic magmatism to continental crust growth: A case study of the paleogene Linzizong volcanic succession in southern Tibet[J]. *Chemical Geology*, 250(1-4): 49-67.
- Qu X M, Hou Z Q and Huang W. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt[J]? *Mineral Deposits*, 20(4): 355-366 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Hou Z Q and Li Z Q. 2003.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of the ore-bearing porphyries of the Gangdese porphyry copper belt and their geological significances[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 245-252 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Hou Z Q and Li Y G. 2004a. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau[J]. *Lithos*, 74(3-4): 131-148.
- Qu X M, Hou Z Q, Guo L J and Xu W Y. 2004b. Source compositions and crustal contaminations of Adakitic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt: Nd, Sr, Pb and O isotope constraint[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(6): 813-821 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Hou Z Q, Khin Z and Li Y G. 2007. Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: Preliminary geochemical and geochronological results[J]. *Ore Geology Reviews*, 31(1-4): 205-223.
- Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation[M]. New York: The United States with John Wiley & Sons. Inc. 154-162.
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Liu Y L. 2003. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet plateau[J]. *Mineral Deposits*, 22: 217-225 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Li G M, Zhang L S and Wang L S. 2004. The response of porphyry copper deposits to important geological events in Xizang[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 145-151 (in Chinese with English abstract).
- Shares E, Allegre C J and Xu R H. 1984. U-Pb geochronology of Gangdese (Transhimalaya) plutonism in the Lhasa-Xigaze region, Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 69(2): 311-320.
- Wang Q H, Wang B S, Li J G, Yao P, Li Z, Zhou Z Y, Chen L J and Liu H F. 2002. Basic features and ore prospect evaluation of the Gangdese island arc, Tibet, and its copper polymetallic ore belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(1): 35-40 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y, Luo T Y, Huang Z L, Yang Z S, Tian S H and Qian Z K. 2010. Sulfur and lead isotope compositions of the Narusongduo silver-zinc-lead deposit Tibet: Implications for the sources of plutons and metals in the deposit[J]. *Acta Mineralogica Sinica* (in Chinese with English abstract) (in Press).
- Yin A, Harrison T M and Ryerson F J. 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet[J]. *Geophy. Res.*, 99: 18175-18201.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan orogen[J]. *Earth Planet. Sci.*, 28: 211-280.
- Zhou S, Mo X X, Dong G C, Zhao Z D, Qiu R Z, Guo T, Wang L L and Guo T Y. 2004.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Cenozoic Linzizong volcanic rocks from Linzhou basin, Tibet, China and their geological implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49: 1970-1979 (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 王亮. 2005. 拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议[J]. *地质通报*, 24(6): 549-557.
- 胡新伟, 马润则, 陶晓风, 刘登忠, 石和. 2007. 西藏措勤地区典中组火山岩地球化学特征及构造背景[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 34(1): 15-22.
- 侯增谦, 莫宣学, 高永峰, 曲晓明, 孟祥金. 2003a. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩[J]. *矿床地质*, 22(1): 1-11.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄卫. 2003b. 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: 609-618.
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 李晓波, 王宗起, 王二七. 2003c. 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): 319-333.
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄卫. 2004b. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制[J]. *岩石学报*, 24(2): 108-121.
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 高永丰. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束[J]. *矿床地质*, 24(2): 108-120.
- 侯增谦, 由晓明, 杨竹森, 孟祥金, 李振清, 杨志明, 郑绵平, 郑有业, 聂凤军, 高永丰, 江思宏, 李光明. 2006a. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(6): 629-651.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王建安, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006b. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(3): 340-351.
- 李光明, 芮宗瑶. 2004a. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成矿年龄[J]. *大地构造与成矿学*, 28(2): 165-170.
- 李光明, 潘桂堂, 王高明, 黄志英, 高大发. 2004b. 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*, 31(1): 22-

- 27.
- 李再会, 郑来林, 李军敏, 夏详标. 2008. 冈底斯中段林子宗火山岩岩石地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(1): 20-27.
- 林武, 梁华英, 张玉泉, 谢应雯. 2004. 冈底斯斑岩铜矿带冲江含矿斑岩的岩石化学及锆石 SHRIMP 年龄特征[J]. 地球化学, 3(6): 587-591.
- 林武. 2005. 西藏冈底斯铜矿带冲江含矿斑岩地球化学特征及形成研究(硕士学位论文)[D]. 导师: 梁华英. 北京: 中国科学院研究生院.
- 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]. 导师: 侯增谦. 北京: 中国地质科学院.
- 孟祥金, 侯增谦, 叶培盛, 杨竹森, 李振清, 高永丰. 2007. 西藏冈底斯银多金属矿化带的基本特征与成矿远景分析[J]. 矿床地质, 26(2): 153-162.
- 莫宣学, 赵志丹, DePaolo D J, 周肃, 董国臣. 2006. 青藏高原拉萨地块碰撞-后碰撞岩浆作用的三种类型及其对大陆俯冲和成矿作用的启示: Sr-Nd 同位素证据[J]. 岩石学报, 23(4): 795-803.
- 莫宣学, 赵志丹, 周肃, 董国臣, 廖忠礼. 2007a. 印度-亚洲大陆碰撞的时限[J]. 地质通报, 26(10): 1240-1244.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]? 矿床地质, 20(4): 355-366.
- 曲晓明, 侯增谦, 李振清. 2003. 冈底斯铜矿带含矿斑岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义[J]. 地质学报, 77(2): 245-252.
- 曲晓明, 侯增谦, 国连杰, 徐文艺. 2004b. 冈底斯铜矿带埃达克质含矿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.
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代与青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22: 217-225.
- 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 王龙生. 2004. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应[J]. 地学前缘, 11(1): 145-151.
- 王全海, 王保生, 李金高, 姚鹏, 李志, 周祖翼, 程力军, 刘鸿飞. 2002. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评估[J]. 地质通报, 21(1): 35-40.
- 杨勇, 罗泰义, 黄智龙, 杨竹森, 田世洪, 钱志宽. 2010. 西藏纳如松多银铅矿 S, Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 矿物学报(待刊).
- 周肃, 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 邱瑞照, 王亮亮, 郭铁鹰. 2004. 西藏林周盆地林子宗火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代格架[J]. 科学通报, 49(20): 2096-2103.