

编号: 0258-7106(2011)02-0361-13

雄村铜金矿床Ⅱ号矿体侵入岩-火山岩的地球化学特征:对岩石成因及构造背景的约束*

黄勇^{1,4}, 唐菊兴², 郎兴海^{1,4}, 张丽³, 陈渊⁴

(1 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610082; 4 西藏天圆矿业资源开发有限公司, 西藏 日喀则 857000)

摘要 雄村斑岩型铜金矿床是近年在冈底斯带南缘发现的一个与中生代岩浆活动有关的岛弧型斑岩铜金矿床。文章对雄村Ⅱ号矿体安山质凝灰岩、角闪闪长玢岩、含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩和晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩进行了岩石学、岩石化学研究, 结果表明, 这些岩石的 $w(\text{SiO}_2)$ 介于 61.97% ~ 66.57%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 16.40% ~ 17.57%, $w(\text{MgO})$ 为 1.07% ~ 2.89%, $w(\text{TFeO})$ 介于 1.75% ~ 5.72%, 均属钙碱性系列。Mg[#] 介于 19.44 ~ 37.46, 平均 28.79, $w(\text{TiO}_2) < 1\%$ 。稀土元素总量为 $35.51 \times 10^{-6} \sim 103.85 \times 10^{-6}$, La_N/Yb_N 比值为 1.76 ~ 6.57, 轻稀土元素富集。含矿火山岩和侵入岩明显富集 Rb、Sr、Th、U 等 LILE 元素, 亏损 Nb、Ta、Ti、Y 等 HFSE 元素, 无铷异常或弱负铷异常, 无铈异常, 矿化火山岩、侵入岩具有典型岛弧火山岩的特征。岩石学、岩石化学、微量元素研究表明, 火山岩、侵入岩形成于中生代雅鲁藏布新特提斯洋向北部拉萨地体俯冲的岛弧环境, 岩浆起源于地幔的部分熔融。

关键词 地球化学 斑岩型铜金矿 岩石成因 构造背景 雄村 西藏

中图分类号: P618.41; P618.51

文献标志码: A

Geochemical characteristics of intrusive and volcanic rocks in No. II ore body of Xiongcu copper-gold deposit, Tibet: Constraints on rock genesis and tectonic setting

HUANG Yong^{1,4}, TANG JuXing², LANG XingHai^{1,4}, ZHANG Li³ and CHEN Yuan⁴

(1 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 61008, Sichuan, China; 4 Tibet Tianyuan Mineral Exploration Co. Ltd., Xigaze 857000, Tibet, China)

Abstract

The Xiongcu porphyry copper-gold deposit is located in southern Gangdise belt. The ore deposit is related to Jurassic magmatic event. Petrographic and geochemical studies of andesitic volcanic rock, hornblende diorite porphyrite, corroded quartz phenocrysts-bearing quartz diorite porphyrite and late coarse-grained corroded quartz phenocrysts-bearing diorite porphyrite show that the tuff and intrusive rocks of No. II ore body are of calc-alkaline series, with $w(\text{SiO}_2)$ ranging from 61.97% to 66.57%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ranging from 16.40% to 17.57%, $w(\text{MgO})$ ranging from 1.07% to 2.89%, and $w(\text{TFeO})$ ranging from 1.75% ~ 5.72%. Mg[#] values vary from 19.44 ~ 37.46, 28.79 on average, $w(\text{TiO}_2)$ values are lower than 1%. Total REE concentrations range

* 本文得到国家 973 项目(编号: 2011CB403103)中央公益性行业科研专项“西藏甲玛斑岩铜多金属矿科学基地研究”课题(编号: 200911007-02)青藏专项(编号: 1212010818089; 1212010012005)共同资助

第一作者简介 黄勇, 男, 1982 年生, 博士生, 专业 矿床学、岩石学、矿床学。Email: yong.huang@hotmail.com

收稿日期 2010-11-21; 改回日期 2011-2-28。张绮玲编辑。

from 35.51×10^{-6} to 103.85×10^{-6} , La_N/Yb_N ratios vary from 1.76 to 6.57, with the enrichment of LREE. Mineralized tuff and intrusion are enriched with LILE elements such as Rb, Sr, Th and U, and depleted in HFS elements such as Nb, Ta, Ti and Y, with no or weak negative Eu anomalies and no Ce anomalous features. Petrographic and geochemical studies indicate that volcanic and intrusive rocks are products of Tethys subduction to North Lhasa tectonic body, and magma originated from partial melting of the mantle.

Key words: geochemistry, porphyry copper-gold deposit, rock origin, tectonic setting, Xiongcu, Tibet

冈底斯成矿带是指北部班公湖-怒江缝合带和南部雅鲁藏布江缝合带之间的巨型构造-岩浆-成矿带(莫宣学等,2005;潘桂堂等,2006)。冈底斯南缘的斑岩铜矿带,东至工布江达县,西至昂仁县(芮宗瑶等,2003;唐菊兴等,2009)。目前在该带上已发现有雄村、朱诺、驱龙、甲玛、帮铺、冲江、宫厅、拉抗俄、南木等大型矿床(侯增谦等,2004;唐菊兴等,2009,2010;张丽等,2007;李光明等,2004)。在冈底斯带南部出露的花岗岩从中生代至新生代均有分布(朱弟成等,2008a;2008b)。冈底斯带上著名的驱龙、甲玛、冲江、宫厅等大型、特大型矿床均与渐新世—中新世的岩浆活动有关,有关矿床与岩浆活动的研究程度也相对较高,而关于侏罗纪岩浆活动与成矿关系的研究相对较弱,因为该时期的岩浆岩主要分布在驱龙矿区西部(杨志明等,2008)、南木林县奴玛乡附近、尼木县尼木大桥附近、日喀则市西北部谢通门县雄村铜金矿床(Reza et al.,2009;唐菊兴等,2009,2010)和乌郁盆地等地区(纪伟强等,2009;Chu et al.,2006;张宏飞等,2007),而与晚三叠世—侏罗纪的岩浆活动有关的斑岩矿床目前只见有雄村斑岩型铜金矿床。

雄村铜金矿床位于冈底斯成矿带中段南缘,雅鲁藏布江缝合带的北侧,是近年来发现的大型斑岩型铜金矿床,矿床由3个串珠状矿体组成(图1)。最先在雄村发现了I号矿体,通过对I号矿体的勘探和研究,按照岛弧型斑岩铜矿成矿理论指导找矿,于2006~2007年在I号矿体北西约3 km处发现了II号矿体,目前II号矿体(又称纽通门铜金矿,唐菊兴等,2010)已经完成勘探,证实是一个大型的斑岩铜金矿,并在II号矿体北西2 km处发现了III号矿体。前人已较为深入地研究了I号矿体的地质特征、成矿年龄、矿床地球化学等特征(唐菊兴等,2009;2010;张丽等,2007;Reza et al.,2009;郎兴海等,2010;徐文艺等,2005;2006a;2006b;曲晓明等,2007a,2007b),但因II号矿体从发现到完成勘探不到5年,对它还缺乏深入研究,为此,本文以II号矿

体的赋矿围岩、赋矿斑岩(玢岩)和无矿斑岩(玢岩)为研究对象,详细研究了它们的岩石学、岩石化学特征,进而探讨了II号矿体形成的地质背景及岩石成因。

1 矿区地质概况

区内出露的地层有中-下侏罗统安山质凝灰岩、中-下侏罗统粉砂岩夹基性凝灰岩、全新统冲积物-崩积物。中-下侏罗统雄村组安山质凝灰岩是雄村矿床主要的含矿围岩,原岩蚀变强烈,其锆石U-Pb年龄为 $(176 \pm 5) Ma$ (唐菊兴等,2010)。早成矿期的侵入岩为角闪闪长玢岩,主成矿期的侵入岩为含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩,其锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $(173 \pm 3) Ma$ 。成矿期后的侵入岩主要有始新世的黑云母花岗闪长岩,其锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $(46.5 \pm 1.1) Ma$ (唐菊兴等,2010),以及穿插矿体的安山岩脉、细晶岩脉、煌斑岩脉。

矿区内断裂构造发育,以脆-韧性断裂带及其相关的裂隙带为主,呈NW向、NWW向或NE向展布,主要断层走向为 $265 \sim 280^\circ$,倾角 $40 \sim 50^\circ$,局部 $50 \sim 78^\circ$,且普遍平行于火山岩地层(图1)。F1断层和F2断层是区内最主要的2条断层,F1断层贯穿整个区域,呈 $265 \sim 280^\circ$ 方向展布于矿区中部,破碎带宽1米至数十米不等,断层性质具典型的先压后张特征,倾向北,倾角一般在 $40 \sim 50^\circ$,局部 $60 \sim 75^\circ$ 。F2断层呈 $265 \sim 280^\circ$ 方向展布,贯穿于矿区的北东侧,倾向北,倾角一般在 50° 以上,最大可达 73° ,破碎带宽约10 m。

II号矿体的矿化发育在含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩以及接触带的角闪闪长玢岩和安山质凝灰岩中,矿化以细脉浸染状为主。金属硫化物主要有黄铜矿、黄铁矿,次为方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、磁黄铁矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、斑铜矿;金属氧化物有磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿;非金属矿物主要有石英、斜长石、黑云母、阳起石、绿泥石、绿帘石、钠长

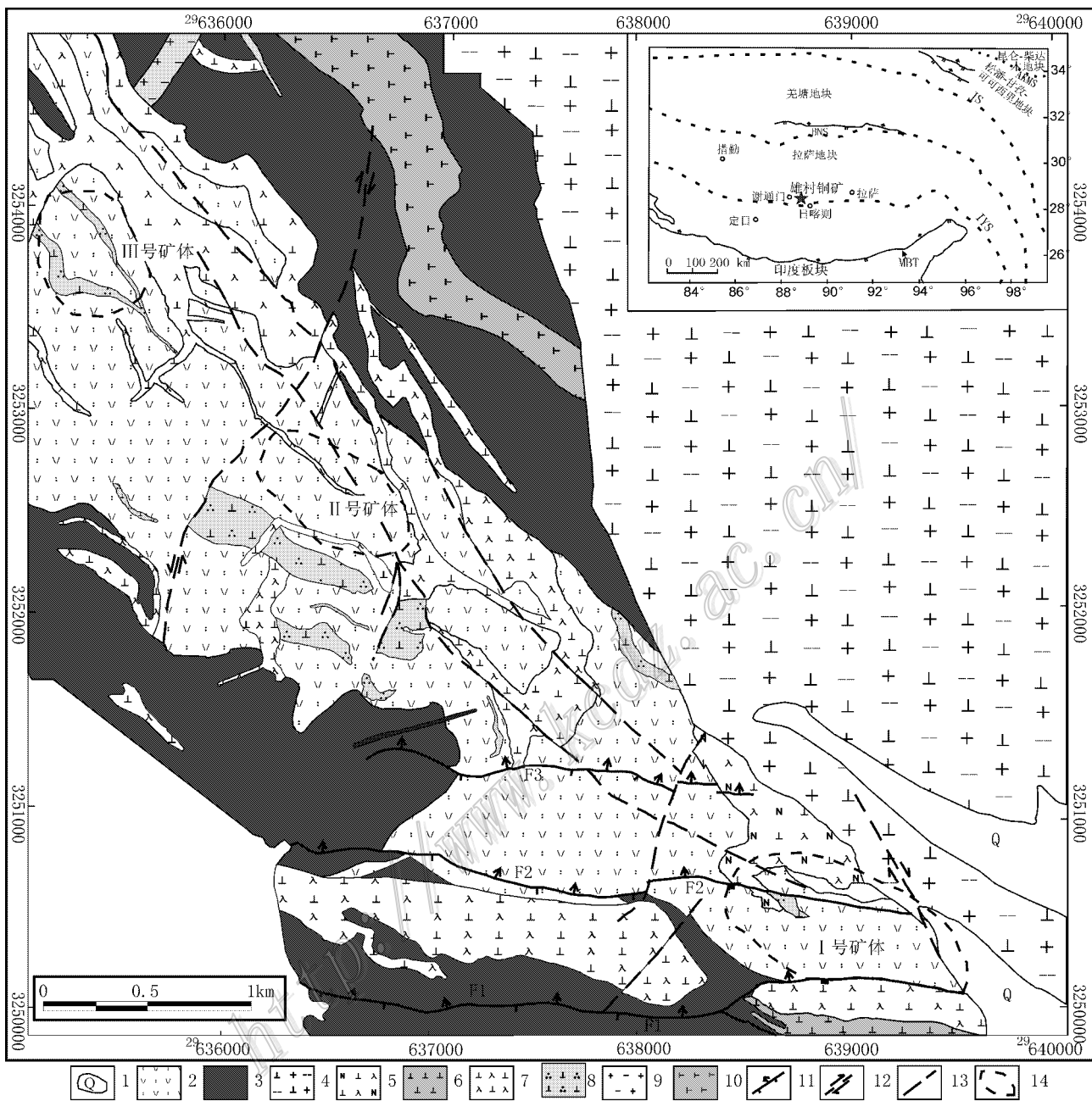


图1 雄村铜金矿床地质简图(据 Oliver 2006^①, 唐菊兴等 2006^②修改)

1—全新统冲积物-崩积物;2—下-中侏罗统雄村组火山凝灰岩;3—下-中侏罗统雄村组火山-沉积岩;4—始新世黑云母花岗岩闪长岩;5—始新世斜长闪长玢岩;6—晚侏罗世石英闪长玢岩;7—早-中侏罗世角闪石英闪长玢岩;8—中侏罗世具眼球状石英斑晶的石英闪长玢岩;9—始新世长英质侵入体;10—晚侏罗世石英闪长玢岩;11—逆冲断层;12—平移断层;13—产状或性质不明断层;14—矿体边界;AKMS—阿尼玛卿-昆仑-木孜塔格缝合带;JS—金沙江断裂;BNS—班公-怒江缝合带;IYS—印度河-雅鲁藏布江缝合带;MBT—主边界逆冲断裂

Fig. 1 Geological sketch map of the Xiongcu copper-gold deposit (modified after Oliver, 2005; Tang et al., 2006)

1—Holocene overburden; 2—Lower-Middle Jurassic felsic tuff; 3—Volcanic-sedimentary rocks of Lower-Middle Jurassic Xiongcu Formation; 4—Eocene biotite granodiorite; 5—Eocene plagioclase diorite porphyrite; 6—Late Jurassic quartz diorite porphyrite; 7—Lower-Middle Jurassic hornblende quartz diorite porphyrite; 8—Middle Jurassic quartz-eyes quartz diorite porphyrite; 9—Eocene felsic intrusion; 10—Lower Jurassic quartz diorite porphyrite; 11—Reverse thrust fault; 12—Flaw fault; 13—Unclear fault; 14—Ore body boundary; AKMS—Animajing-Kunlun-Muzhitage suture zone; JS—Jinshajiang suture zone; BNS—Bangong-Nujiang suture zone; IYS—Indian River-Yaluzangbujiang suture zone; MBT—Major boundary thrust fault

① Oliver J. 2006. Geological mapping of the Xietongmen property and contiguous areas, Tibet, People's Republic of China. Private Report to Continental Minerals Corp.

② 唐菊兴, 李志军, 钟康惠, 等. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜(金)矿勘探报告. 成都: 成都理工大学档案馆.

石。区内发育的主要蚀变类型有早期钾-硅酸岩化、钠质-钙质蚀变、黄铁绢英岩化、青磐岩化,细脉浸染状矿化主要产于钾-硅酸岩化和黄铁绢英岩化带中。

2 岩石学特征

本次研究采集的样品为安山质凝灰岩、成矿早期

角闪闪长玢岩、主成矿期含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩及晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩。含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩与角闪闪长玢岩的矿物组成、结构构造、以及蚀变类型类似,其主要区别在于石英闪长玢岩含有较多的溶蚀状石英斑晶。

安山质凝灰岩(图2a):由细粒长石、黑云母、角闪石组成,具纹层结构,该类岩石局部被绢云母交

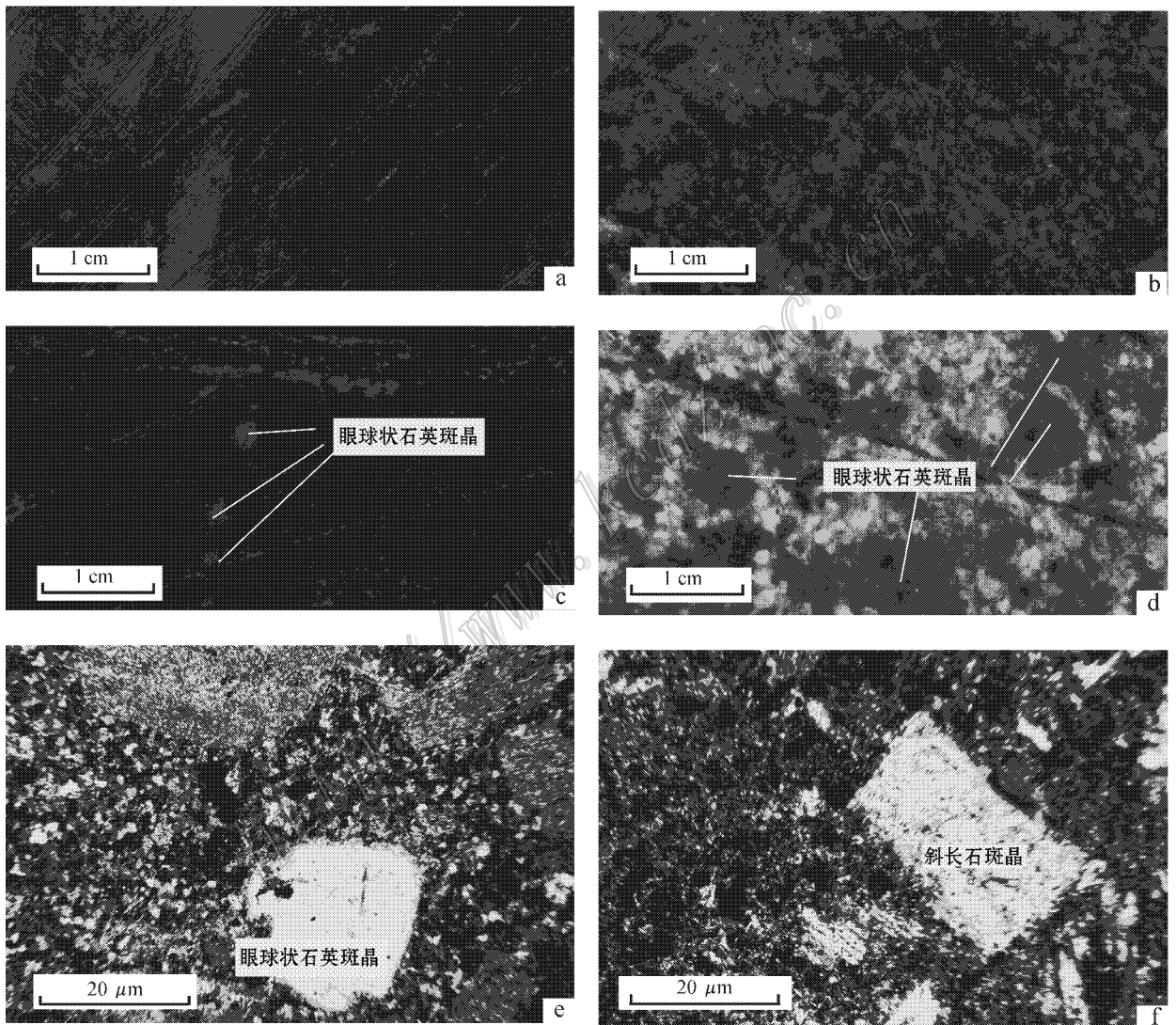


图2 雄村矿区Ⅱ号矿体岩石手标本及显微镜下照片

a. 安山质凝灰岩(ZK7235, 孔深 61.4 m); b. 角闪闪长玢岩(ZK7224, 孔深 419.7 m); c. 含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩(ZK7237, 孔深 50 m); d. 晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩(ZK7226, 孔深 447.6 m); e. 稀疏浸染状矿化石英闪长玢岩, 斑晶由石英、长石组成, 基质由细粒长石、石英组成, 粒间含少许细粒绢云母无序充填(ZK7222, 孔深 190.3 m); f. 稀疏浸染状矿化黑云母化角闪闪长玢岩, 斑晶主要由斜长石组成, 基质为隐晶质具鳞片状黑云母化(ZK7234, 孔深 577.8 m)

Fig. 2 Hand specimen and polarizing microscope photos of rocks from Xiongceun No. II ore body

a. Andesitic tuff (ZK7235, 61.4 m in depth); b. Hornblende diorite porphyrite (ZK7224, 419.7 m in depth); c. Corroded quartz phenocrysts-bearing diorite porphyrite (ZK7237, 50 m in depth); d. Late coarse grained quartz phenocrysts-bearing diorite porphyrite (ZK7226, 447.6 m in depth); e. Mineralized quartz diorite porphyrite, with quartz and feldspar phenocrysts; matrix composed of feldspar and quartz, with minor fine grained sericite between grains (ZK7222, 190.3 m in depth); f. Mineralized biotitized hornblende diorite porphyrite, with quartz and plagioclase phenocrysts; groundmass altered by biotitization (ZK7234, 577.8 m in depth)

代。变斑晶主要由细粒不等粒的长石和石英组成,长石含量约为40%,并普遍被绢云母-细粒白云母交代,因此切片通常具浑浊状,光性较模糊。石英含量约为40%,粒径介于0.02~0.1 mm之间,以细粒不规则状为主,石英粒间常被细小片状绢云母或黑云母充填。黑云母含量较少,约为5%,黑云母多已褪色,褪色黑云母沿节理带常被少许铁质物充填。

角闪闪长玢岩(图2b)斑状结构,由中粒至细粒半自形板状或不规则粒状斜长石和少量石英、角闪石组成。斜长石斑晶>20%,分布较均匀,普遍被细小磷片状绢云母交代,仅保留斜长石外形。石英斑晶较少,约为1%~2%,中至细粒不规则浑圆粒状或蚀湾状,分布无规律,但都较洁净透明,颗粒边缘常具不规则增生边。角闪石斑晶呈自形至半自形,含量约为3%。基质主要由细粒不规则粒状石英、斜长石、黑云母以及少量副矿物组成。

含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩(图2c):斑状结构,斑晶由石英和斜长石组成,石英斑晶含量大于5%,中至细粒自形粒状及不规则状,局部微裂隙较发育,普遍具有较狭的增生边。斜长石斑晶>20%,中至细粒,细粒自形板状至不规则粒状,普遍被磷片状绢云母交代。基质由长石和石英组成,偶见绿泥石化的黑云母穿插其中。

晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩(图2d):斑状结构,斑晶主要由斜长石、石英和少量角闪石组成,斑晶含量大于50%。石英斑晶含量约为15%,粒径介于0.3~0.5 cm,最大粒径可达1 cm,呈方形或他形,有些被溶蚀。斜长石斑晶含量约为30%,呈半自形至不规则粒状,主要被绢云母和细粒绿泥石交代。基质由石英、斜长石、黑云母、绢云母和少量副矿物组成。

3 岩石化学特征

3.1 样品采集和测试方法

本次研究样品均采自钻孔中,常量和微量元素分析由西南冶金地质测试所完成。样品在粗碎、中碎、细碎三个阶段中损耗率分别小于3%、5%、7%,缩分误差小于3%。常量元素采用荷兰帕纳科 Axios X 荧光射线光谱仪测定,分析误差小于5%;微量元素测定采用 ICP-MS 法:首先称取 40 mg 样品和 3 个国家一级样品用酸溶法制成溶液,然后在等离子质谱仪上进行测定。其精度为:元素含量大于 $10 \times$

10^{-6} 的误差小于 5%,而含量小于 10×10^{-6} 的误差小于 10%。抽取 20% 样品进行内部检查,分析结果列于表 1。

3.2 主量元素

根据化学分析结果,绘制了一些图件,得到了一些岩石化学特征。

(1) TAS 图解(图 3a)表明,角闪闪长玢岩和含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩均位于花岗岩和花岗闪长岩区域内,晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩位于花岗闪长岩和石英二长岩区域内,与野外观察和显微镜下的鉴定结果一致;

(2) $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图解(图 3b)表明,角闪闪长玢岩属钙碱性至高钾钙碱性系列,含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩属钙碱性系列,而晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩属低钾(拉斑)系列;

(3) 晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩的 A/CNK 值为 0.83~0.86,平均为 0.84,角闪闪长玢岩与含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩的 A/CNK 值为 1.0~1.14,平均为 1.1,属弱铝质中酸性岩石;

(4) AR- SiO_2 图解(图 4a)中,所有样品均落于钙碱性区域,属钙碱性系列;

(5) CIPW 岩石分类法标准矿物计算表明,安山质凝灰岩和含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩的 Mt 大于 1%,平均为 2.64%。 $\phi(Q+Or)\phi(Mt+Il)$ 图解中(图 4b),所有样品均落于磁铁矿系列中。钴孔编录同样显示斑岩体中心为强磁铁矿-钾长石-黑云母蚀变,并含有硬石膏矿物。硬石膏呈脉状,团块状产出,分析结果与野外地质观测情况吻合。磁铁矿和硬石膏的发现,表明岩浆初始出溶流体具有较高的氧逸度和硫逸度。高氧逸度有利于 S 以 SO_3 或者硫酸盐的形式存在,而不是以还原性 S^{2+} 的形式存在,因而有利于岩浆演化形成的热液流体携带大量的硫和金属氯络合物,形成大型富金斑岩铜矿床。

3.3 稀土和微量元素

雄村铜金矿 II 号矿体火山岩、侵入岩的微量、稀土元素分析结果列于表 1,它们的微量元素标准化分布型式相似(图 5a),均相对富集 Rb、Sr、U、Th 等大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSE) Nb、Ta、Ti,但晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩具有明显的富 Ta、亏 K 的特征。

雄村铜金矿 II 号矿体安山质凝灰岩 ΣREE 为 $40.76 \times 10^{-6} \sim 45.60 \times 10^{-6}$,平均为 43.18×10^{-6} , LREE/HREE 比值为 5.64~6.42;角闪闪长玢岩

表1 雄村铜金矿Ⅱ号矿体主量元素、微量元素分析结果表

Table 1 Major elements and trace elements analyses of No. Ⅱ ore body in the Xiongcu copper-gold deposit

	晚期含粗粒石英斑晶 的石英闪长玢岩			含溶蚀状石英斑晶 的石英闪长玢岩			角闪闪长玢岩				安山质凝灰岩	
	C051	C052	C062	C055	C057	C067	C053	C058	C065	C063	C59	C64
$\omega(B)\%$												
SiO ₂	65.73	66.57	66.10	63.72	64.68	62.62	65.98	62.06	63.94	61.97	—	—
Fe ₂ O ₃	0.24	0.33	0.61	1.34	1.89	2.98	1.91	1.96	1.02	2.47	—	—
FeO	2.65	1.55	1.20	2.99	2.57	2.68	1.16	3.95	3.50	3.50	—	—
Al ₂ O ₃	16.40	16.91	16.90	17.43	17.23	17.25	17.11	17.57	16.78	16.63	—	—
CaO	4.40	4.95	4.72	4.94	3.91	5.68	3.48	5.15	3.56	3.86	—	—
K ₂ O	0.69	0.52	0.55	2.37	1.62	1.85	1.23	2.22	2.24	3.27	—	—
MgO	1.07	1.42	1.35	2.48	1.83	2.74	1.57	2.20	2.89	1.78	—	—
MnO	0.09	0.07	0.08	0.05	0.05	0.06	0.06	0.12	0.12	0.10	—	—
Na ₂ O	6.64	6.13	6.71	2.88	4.15	2.00	5.84	2.64	3.51	3.74	—	—
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.18	—	—
TiO ₂	0.40	0.39	0.40	0.45	0.46	0.45	0.44	0.46	0.46	0.51	—	—
H ₂ O ⁺	0.78	0.62	0.81	1.01	0.82	0.95	0.91	1.35	1.25	1.31	—	—
H ₂ O ⁻	0.29	0.18	0.31	0.22	0.19	0.24	0.18	0.16	0.18	0.24	—	—
$\omega(B) \times 10^{-6}$												
La	6.72	6.85	4.79	11.16	10.85	13.04	11.17	16.94	11.15	20.22	8.27	6.68
Ce	17.52	16.20	10.89	20.62	19.35	26.56	25.97	27.64	19.94	38.83	16.97	17.86
Pr	1.57	1.72	1.17	2.49	2.33	3.02	2.48	3.60	2.39	4.65	1.99	1.65
Nd	7.36	8.56	6.21	10.87	10.32	13.53	10.58	15.97	10.50	20.61	8.97	6.95
Sm	2.40	2.44	1.88	2.42	2.25	3.09	2.37	3.30	2.12	4.34	1.98	1.54
Eu	0.87	0.71	0.59	0.88	0.80	0.96	0.77	1.27	0.63	1.38	0.54	0.58
Gd	2.28	2.68	2.31	2.71	2.50	3.63	2.44	3.58	2.14	4.33	1.92	1.49
Tb	0.35	0.41	0.41	0.43	0.40	0.60	0.34	0.53	0.32	0.60	0.27	0.21
Dy	2.11	2.47	2.57	2.63	2.42	3.77	2.01	2.97	1.75	3.46	1.70	1.26
Ho	0.46	0.52	0.57	0.57	0.53	0.81	0.41	0.65	0.37	0.69	0.36	0.27
Er	1.37	1.59	1.71	1.73	1.58	2.37	1.26	1.82	1.18	2.04	1.11	0.91
Tm	0.22	0.25	0.27	0.26	0.24	0.36	0.20	0.29	0.18	0.30	0.17	0.15
Yb	1.59	1.70	1.84	1.72	1.64	2.36	1.34	1.89	1.23	2.08	1.15	1.04
Lu	0.25	0.28	0.29	0.27	0.25	0.35	0.22	0.30	0.20	0.32	0.19	0.17
Y	12.18	13.41	14.40	13.87	13.06	19.39	10.16	15.69	9.19	16.36	8.18	6.28
Ba	983.50	115.90	136.80	354.40	227.70	144.00	341.80	312.70	205.20	469.00	630.20	681.90
Be	1.00	1.01	0.84	0.76	0.80	0.93	0.76	0.76	0.72	0.81	1.50	2.28
Co	3.12	1.69	1.68	10.20	13.90	19.80	21.20	17.50	21.60	13.20	12.30	11.20
Cr	19.10	344.90	15.20	170.50	30.20	179.80	277.40	18.10	169.00	25.70	20.90	32.20
Cs	1.03	11.30	1.12	9.83	4.31	7.28	8.11	1.13	8.63	1.83	7.59	9.46
F	246.00	236.00	320.00	486.00	374.00	722.00	337.00	512.00	774.00	628.00	222.00	320.00
Ga	22.27	20.45	21.85	22.12	21.45	21.86	16.18	22.88	17.32	20.99	31.68	31.26
Hf	4.59	4.72	4.22	4.02	5.04	3.48	4.31	4.39	5.11	5.08	5.38	5.78
K	5728	4308	4599	19691	13432	15366	10178	18413	18570	27146	46821	47651
Nb	10.30	10.10	10.50	7.28	7.83	7.02	6.58	7.49	6.89	10.40	9.12	12.70
Ni	5.54	17.39	2.01	19.22	6.20	23.93	18.08	3.85	15.27	4.09	8.93	13.67
P	610.98	631.06	610.54	521.95	507.11	516.71	491.40	527.63	507.11	766.78	536.79	945.71
Pb	149.20	15.90	26.20	9.10	12.50	11.80	18.40	18.20	23.00	17.70	8.90	9.80
Rb	16.90	11.50	14.70	78.90	61.50	68.00	28.90	63.70	71.30	63.60	114.40	140.10
Sc	7.59	7.28	7.53	11.30	13.00	13.70	12.30	12.30	13.40	6.58	16.80	15.90
Sr	425.40	468.90	467.60	362.60	479.70	410.40	380.10	317.30	253.20	458.80	405.80	145.30
Ta	1.62	1.77	1.85	2.19	1.72	0.50	1.89	1.46	2.73	2.47	1.62	0.92
Th	5.79	3.95	3.76	4.22	5.62	6.75	5.39	3.82	5.46	5.68	3.75	12.71
Ti	2375.9	2343.5	2415.5	2697.2	2729.0	2684.1	2642.1	2744.0	2732.6	3051.6	4807.6	5321.9
U	1.44	2.73	2.87	1.52	2.53	2.27	1.69	1.37	1.78	1.76	2.82	1.54
V	50.42	56.39	61.66	110.70	101.90	107.10	103.50	135.50	105.10	84.97	145.50	146.40
Zr	117.40	117.50	112.80	96.70	96.80	93.60	95.50	98.10	93.90	104.90	143.50	191.80
ΣREE	45.07	46.37	35.51	58.77	55.47	74.46	61.58	80.77	54.08	103.85	45.60	40.76
LREE	36.43	36.47	25.54	48.44	45.91	60.21	53.35	68.73	46.72	90.03	38.73	35.26
HREE	8.63	9.90	9.96	10.33	9.56	14.25	8.24	12.03	7.36	13.83	6.87	5.50
LREE/HREE*	4.22	3.68	2.56	4.69	4.80	4.23	6.48	5.71	6.35	6.51	5.64	6.42
La _N /Yb _N *	2.85	2.72	1.76	4.39	4.46	3.73	5.63	6.06	6.13	6.57	4.85	4.35
δEu*	1.12	0.85	0.87	1.05	1.02	0.87	0.97	1.13	0.90	0.97	0.84	1.17
δCe*	1.23	1.08	1.05	0.89	0.87	0.96	1.12	0.80	0.87	0.91	0.96	1.23

注: 主量元素、微量元素含量分析在西南冶金地质测试所完成, 测试方法和误差见正文。* 单位为1。

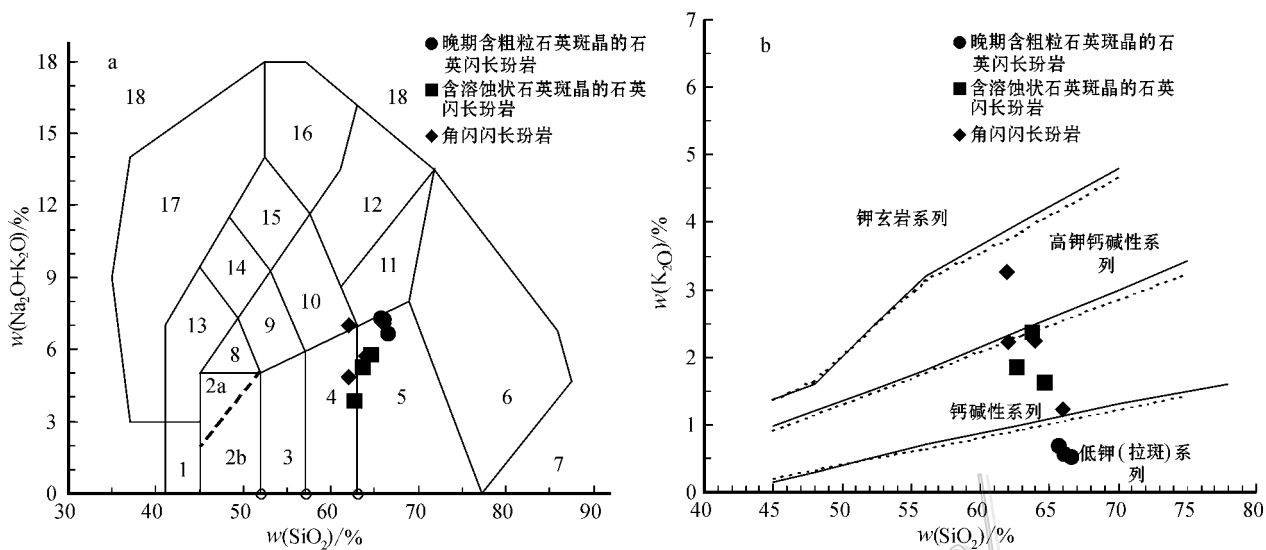


图3 雄村铜金矿II号矿体侵入岩 TAS图解(a)和 SiO₂-K₂O图解(b)

Fig. 3 TAS (a) and SiO₂-K₂O (b) diagrams of No. II ore body in the Xiongcu copper-gold deposit

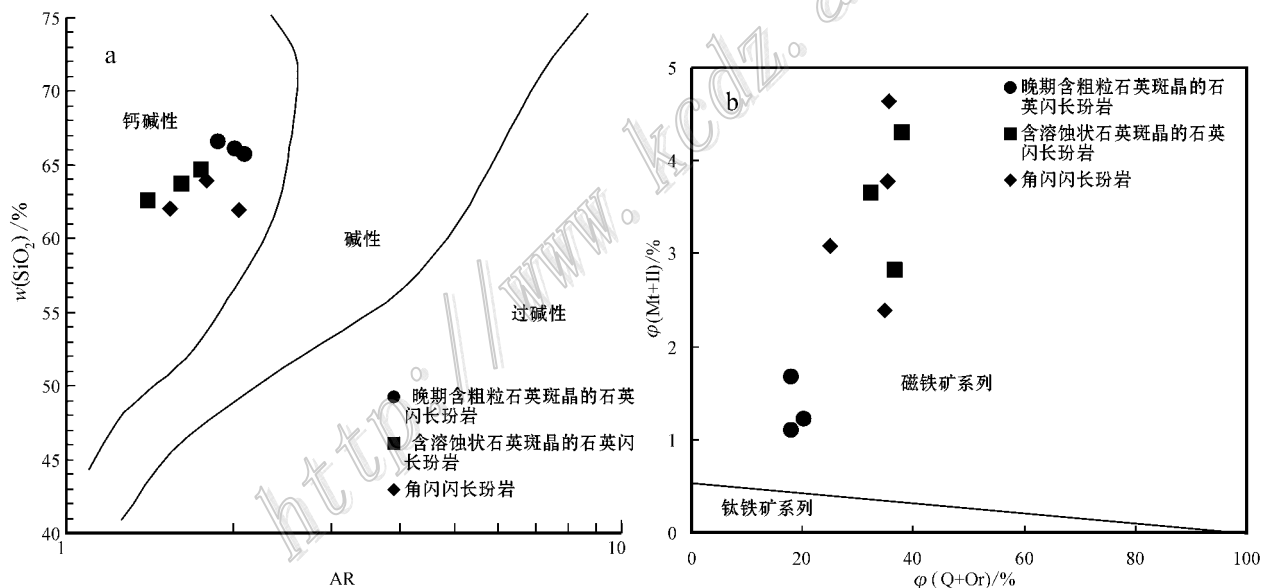


图4 雄村铜金矿II号矿体侵入岩 AR-w(SiO₂)图解(a)和 phi(Q+Or)-phi(Mt+Il)图解(b)

Fig. 4 AR-w(SiO₂) (a) and phi(Q+Or)-phi(Mt+Il) diagrams of No. II ore body in the Xiongcu copper-gold deposit

ΣREE 为 $54.08 \times 10^{-6} \sim 103.85 \times 10^{-6}$, 平均 75.07×10^{-6} , LREE/HREE 比值为 $5.71 \sim 6.51$; 含溶蚀状石英闪长玢岩 ΣREE 为 $55.47 \times 10^{-6} \sim 74.46 \times 10^{-6}$, 平均 62.90×10^{-6} , LREE/HREE 比值为 $4.23 \sim 4.80$; 晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩 ΣREE 为 $35.51 \times 10^{-6} \sim 46.37 \times 10^{-6}$, 平均 42.31×10^{-6} , LREE/HREE 比值为 $2.56 \sim 4.22$ 。火山岩

和侵入岩 $\text{La}_{\text{N}}/\text{Yb}_{\text{N}}$ 为 $1.76 \sim 6.57$, 平均 4.46 , 火山岩和侵入岩均显示出轻稀土元素富集、重稀土元素亏损、稀土元素分布曲线呈右倾型的特征(图 5b)。火山岩和侵入岩的 δEu 为 $0.84 \sim 1.17$, 平均 0.98 , 无铈异常或弱负铈异常, 反映岩浆源区没有经历过富钙矿物的结晶分离作用。火山岩和侵入岩 δCe 为 $0.80 \sim 1.23$, 平均为 1.00 , 无铈异常。

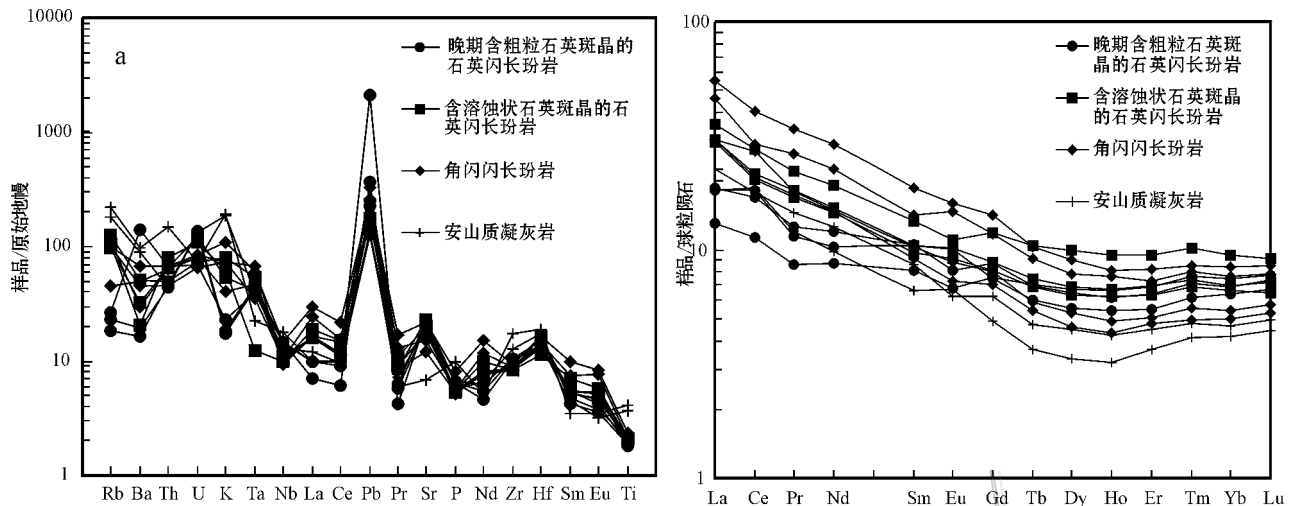


图5 雄村铜金矿Ⅱ号矿体微量元素标准化图解(a)和稀土元素标准化图解(b)

Fig. 5 Primitive mantle-normalized spidergram (a) and chondrite-normalized REE patterns (b) of No. II ore body in the Xiongcu copper-gold deposit

4 讨论

4.1 岩石成因

据雷利定律 $C/C^0 = F^{(D-1)}$ 公式推导, 分离结晶形成的同源火山岩系列的微量元素必定具有线性对数关系(耿全如等, 1991), 而雄村Ⅱ号矿体的火山岩、侵入岩 $\ln Th - \ln Hf$ (图 6a) 不具备这样的特点。Treu (1975) 根据不平衡分离结晶作用的定量模型推导(转引自杨学明等, 2000): $C_L^H/C_L^M = C_{0,L}^H$, 因 $C_{0,L}^H$ 和 $C_{0,L}^M$ 为固定值, 若用 C_L^H/C_L^M 对 C_L^H 作图会得到一条平衡于 C_L^H 轴的平行线, 而在 $Ce - Ce/Zr$, $La - La/Sm$ 和 $La - La/Y$ 图中(图 6a, 6b, 6c) 样品投影点呈线性倾斜排列, 因此雄村铜金矿Ⅱ号矿体火山岩、侵入岩形成于部分熔融。通常认为岛弧型斑岩铜矿是由于俯冲洋壳板片在深部发生脱水, 形成的流体和其他流体交代上覆地幔楔, 发生部分熔融, 而形成岛弧型或陆缘弧型斑岩铜矿(Sillitoe, 2010)。而雄村铜金矿Ⅱ号矿体可能就是形成于雅鲁藏布新特提斯洋向北部拉萨地体的俯冲岛弧环境, 火山岩、侵入岩富 LILE 元素和轻稀土元素, $TiO_2 < 1\%$, 较小的 $Mg^\#$ 值等特点进一步证实了这一推论。

4.2 构造环境分析

雄村铜金矿Ⅱ号矿体火山岩和侵入岩的 $w(Al_2O_3)$ 介于 $16.40 \times 10^{-6} \sim 17.57 \times 10^{-6}$, 晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长斑岩 Na_2O/K_2O 比值为

9.62~12.10, 平均 11.18, 角闪闪长玢岩和含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩 Na_2O/K_2O 比值为 1.08~2.56, 平均 1.93, 均显示出高铝、富钠的特点。 $Mg^\#$ $\{ (Mg^\# = 100 \times Mg^{2+} / (Mg^{2+} + TFe^{2+})) \}$ 为 19.44~37.46, 平均 28.79, 明显低于地壳 $Mg^\#$ 值, 显示出岩浆主要来源于地幔(肖庆辉等, 2002)。在 $w(FeOt) - w(MgO) - w(Al_2O_3)$ 图解(图 7a) 和 $w(SiO_2) - w(FeOt) / (w(FeOt) + w(MgO))$ 图解(图 7b) 中, Ⅱ号矿体火山岩和侵入岩样品分布在岩浆弧区域内, 显示出火山岩和侵入岩均形成于板块俯冲下的岛弧环境。

火山岩、侵入岩均属钙碱性系列, 表现为富集 Rb、Sr、U、Th 等大离子亲石元素, 相对亏损 Nb、Ta、Ti。Sr/Y 比值较高, 轻稀土元素强烈富集, 同时明显富集 Pb 的特征, 表明其形成过程中受到地壳物质的混染。这些特征与新西兰火山弧英安岩和流纹岩微量元素特征类似(杨学明等, 2000), 暗示火山岩岩浆来源于地幔楔形区形成的玄武岩浆。在 Y-Nb 图解(图 8a) 和 $(Y + Nb) - Rb$ 图解(图 8b) 中, 火山岩和侵入岩样品均落在火山弧区域内。微量元素分析结果进一步表明雄村铜矿Ⅱ号矿体形成于板块俯冲背景下的岛弧环境。近年来在冈底斯南缘上发现的俯冲型花岗岩类主要包括尼木花岗岩类、金达英云闪长岩等(朱第成等, 2008b; 2009), 花岗岩类的成分属英云闪长岩和花岗闪长岩, 在组成上与雄村Ⅱ号矿体侵入岩类似。

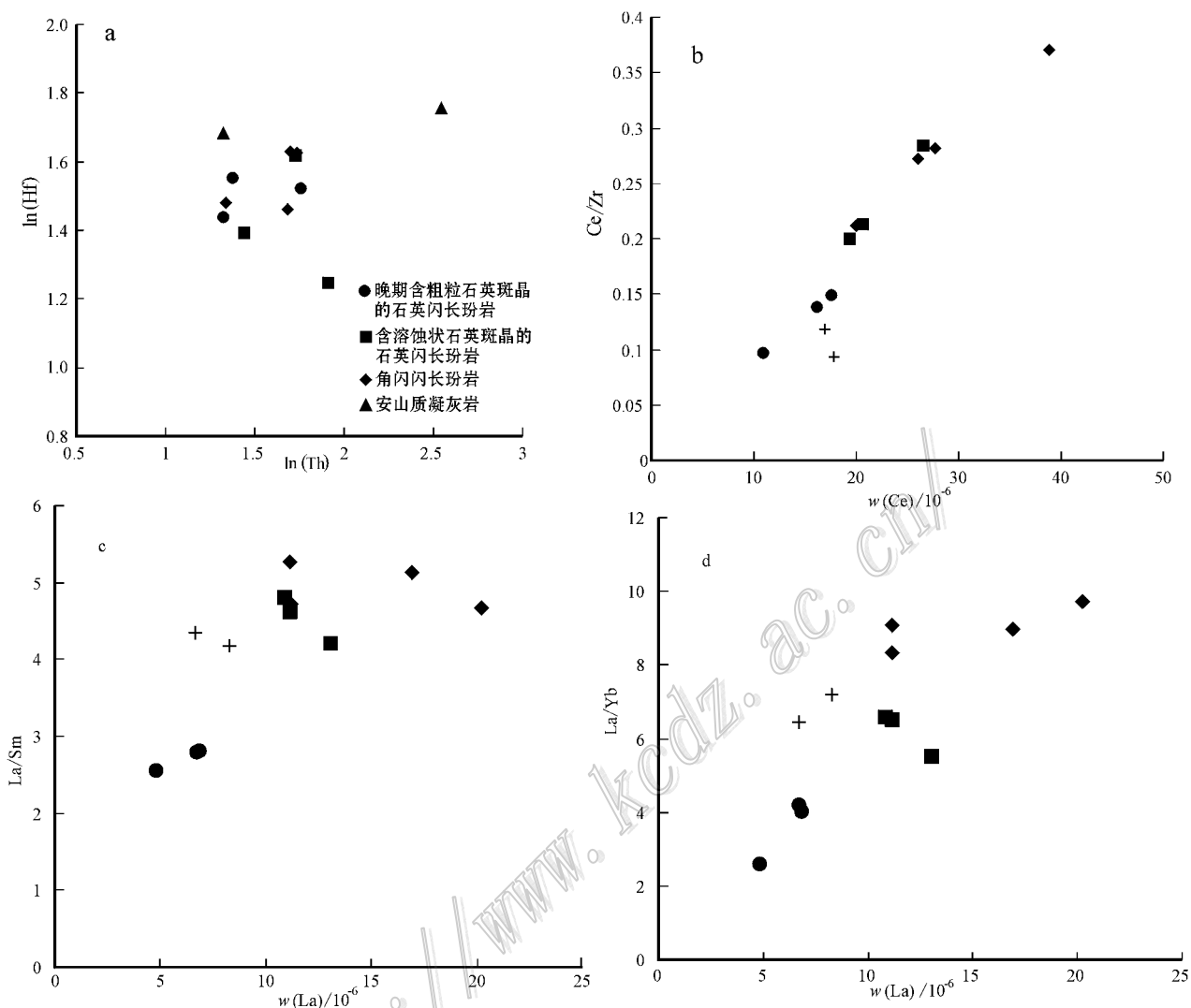


图 6 雄村铜金矿 II 号矿体 $\ln(\text{Th})-\ln(\text{Hf})$ 图解 (a) $\text{Ce}-\text{Ce}^*/\text{Zr}$ 图解 (b) $\text{La}-\text{La}^*/\text{Sm}$ 图解 (c) 和 $\text{La}-\text{La}^*/\text{Yb}$ 图解 (d)
 Fig. 6 $\ln(\text{Th})-\ln(\text{Hf})$ diagram (a), $\text{Ce}-\text{Ce}^*/\text{Zr}$ diagram (b), $\text{La}-\text{La}^*/\text{Sm}$ diagram (c), $\text{La}-\text{La}^*/\text{Yb}$ diagram (d) of No. II ore body in the Xiongcu copper-gold deposit

最近的研究认为,早在晚三叠世时,由于受到特提斯大洋向南俯冲的制约,在冈底斯南缘发生了一系列的地质事件,包括冈底斯陆块与印度陆块的分离、雅鲁藏布弧后洋盆的扩展等(潘桂棠等,2006)。而随后的早-中侏罗世时期班公湖-怒江特提斯洋壳向南的俯冲消减,与雅鲁藏布江弧后洋盆自早-中侏罗世时向北的双向俯冲消减作用对冈底斯构造带的构造-岩浆-成矿作用具有决定性的影响和制约作用。雄村铜金矿 II 号矿体的岩石具有正常岛弧火山岩的常量、微量元素组成特征。火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (176 ± 5) Ma,含矿玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (173 ± 3) Ma,表明雄村斑岩铜金矿形

成于早-中侏罗世的岛弧环境。此外,在罗布莎,休古嘎布岩体辉长岩 Sm-Nd 等时线年龄值为 177 Ma、173 Ma (Zhou et al., 2002; 周肃, 2002); 在冈底斯东段超铁镁质岩中获得的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 辉石冷却年龄为 (200 ± 4) Ma (潘桂棠等, 2006); 乌郁盆地获得一个黑云母花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 (188 ± 20) Ma (Chu et al., 2006); 冈底斯东段获得的得明顶地区叶巴组弧火山岩锆石 U-Pb 年龄为 (192.7 ± 1.3) Ma (陈炜等, 2009)。这些年龄及雄村 II 号矿体的地球化学特征进一步证实了上述推论,雄村铜金矿形成于新特提斯洋向北俯冲的构造-岩浆-成矿事件。

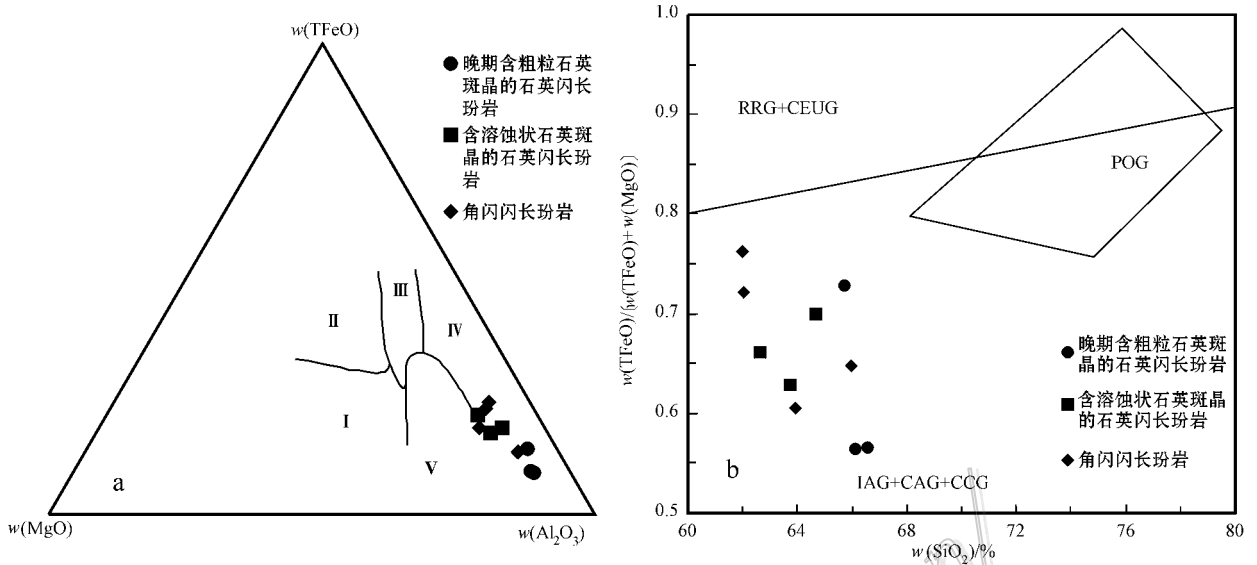


图 7 雄村铜金矿 II 号矿体 $w(\text{TFeO})-w(\text{MgO})-w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 图解 (a) 和 $w(\text{SiO}_2)-w(\text{TFeO})/[w(\text{TFeO})+w(\text{MgO})]$ 图解 (b)

POG—造山后花岗岩类; RRG—与裂谷有关的花岗岩类; CEUG—陆内造陆运动花岗岩类; IAG—岛弧花岗岩类; CAG—大陆花岗岩类; CCG—大陆碰撞花岗岩类

Fig. 7 $w(\text{TFeO})-w(\text{MgO})-w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ diagram (a) and $w(\text{SiO}_2)-w(\text{TFeO})/[w(\text{TFeO})+w(\text{MgO})]$ diagram (b) of No. II ore body in the Xiongcun copper-gold deposit

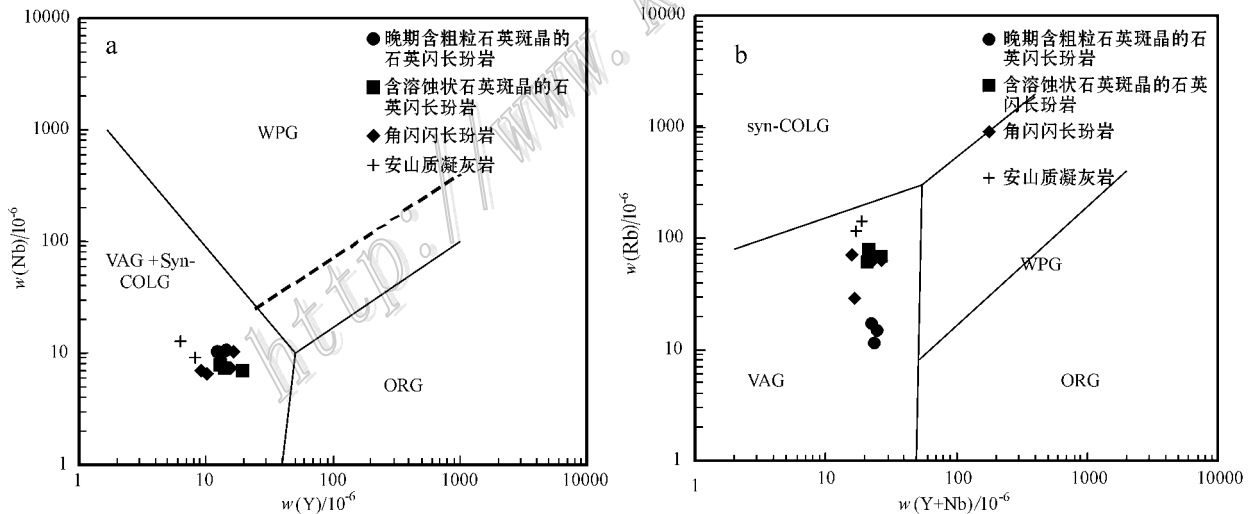


图 8 雄村铜金矿 II 号矿体 Y-Nb 图解 (a) 和 $(\text{Y} + \text{Nb})-\text{Rb}$ 图解 (b)

Syn-COLG—同碰撞环境; WPG—板内环境; ORG—洋中脊环境; VAG—火山弧环境

Fig. 8 Y-Nb (a) and Y+Nb-Rb (b) diagrams of No. II ore body in the Xiongcun copper-gold deposit

Syn-COLG—Syn-collision environment; WPG—Intraplate environment; OGR—Mid-oceanic ridge; VAG—Volcanic arc environment

5 结论

(1) 雄村铜金矿 II 号矿体中安山质凝灰岩、角

闪闪长玢岩、含溶蚀状石英斑晶的石英闪长玢岩及晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩具有 Al_2O_3 含量高、富钠、 $w(\text{TiO}_2) < 1\%$ 的特点。含矿火山岩、侵入岩的 Mt 均大于 1%，平均为 2.64%，矿体磁铁矿

含量较高,岩浆初始出溶流体具有较高的氧逸度和硫逸度。

(2) II号矿体矿化火山岩、侵入岩富集 LILE 元素,亏损 HFSE 元素,稀土元素分布曲线呈右倾型,轻、重稀土元素强烈分馏,火山岩、侵入岩具有无 Eu 异常或弱的负 Eu 异常,无 Ce 异常,显示出岛弧火山岩特征。 $Mg^{\#}$ 介于 19.44~37.46,表明岩浆来源于地幔,火山岩浆岩强烈富集 Pb,暗示岩浆在上侵过程中,经历过地壳物质的混染。

(3)地质证据以及岩石化学、微量元素判别图解均显示出矿化火山岩-侵入岩形成于中生代新特提斯洋向北拉萨地体俯冲的岛弧环境,火山岩、侵入岩起源于部分熔融的地幔楔形区。

志 谢 野外工作得到了西藏天圆矿业资源开发有限公司的大力帮助,在此表示感谢。

References

- Chu M F, Chung S L and Song B. 2006. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of southern Tibet[J]. *Geology*, 34(9): 745-748.
- Chen W, Ma C Q, Bian Q J, Hu Y Q, Long T C, Yu S L, Chen D M and Tu J H. 2009. Evidences from geochemistry and zircon U-Pb geochronology of volcanic rocks of Yeba Formation in Demingding Area, the east of middle Gangdise, Tibet[J]. *Geological Science and Technology Information*, 28(3): 31-40 (in Chinese with English abstract).
- Geng Q R and Mao Y S. 1991. The petrographic and mineralogic characteristics and petrogenesis of spilite-kerato-phyre sequence from Qijiaojing Formation, eastern Tianshan, Xinjiang [J]. *Bulletin of Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geosciences*, 15: 119-132 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Gao Y F, Meng X J, Qu X M and Huang W. 2004. 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).
- Ji W Q, Wu F Y, Zhong S L and Liu C Z. 2009. Geochronology and petrogenesis of granitic rocks in Gangdese batholith, southern Tibet [J]. *Science in China (Series D)*, 39(7): 849-871 (in Chinese with English abstract).
- Li G M and Rui Z Y. 2004. Diagenetic and mineralization ages for the porphyry copper deposits in the gangdise metallogenic belt, southern Xizang[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 165-170 (in Chinese with English abstract).
- Lang X H, Chen Y C, Tang J X, Li Z J, Huang Y, Wang C H, Chen Y and Zhang L. 2010. Characteristics of rock geochemistry of ore-body No. I in the Xiongcu porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen County, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. *Geology and Exploration*, 46(5): 887-898 (in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Dong G C, Zhao Z D, Zhou S, Wang L L, Qiu R Z and Zhang F Q. 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdese, Tibet and implication for crustal growth and evolution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281-290 (in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, Zhu D C, Wang L Q, Li G M, Zhao Z D, Geng Q R and Liao Z L. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese orogenic belt and its evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521-533 (in Chinese with English abstract).
- Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007a. 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).
- Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007b. Collation of age of ore-hosting volcanics in xiongcu superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP ages[J]. *Mineral Deposits*, 26(5): 513-518 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, Zhang L S, Wang L S and Li Y L. 2003. Metallogenic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet plateau[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 217-225 (in Chinese with English abstract).
- Reza T, James K M, James R L, Mark R and James L O. 2009. Jurassic U-Pb and Re-Os ages for the newly discovered Xietongmen Cu-Au porphyry district, Tibet, PRC: Implications for metallogenic epochs in the southern Gangdese belt[J]. *Econ. Geol.*, 104: 127-136.
- Sillitoe R H. 2010. Porphyry copper systems[J]. *Econ. Geol.*, 105: 3-41.
- Tang J X, Zhang L, Huang Y, Wang C H, Li Z J, Deng Q, Lang X H and Wang Y. 2009. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance[J]. *Mineral Deposit*, 28(6): 759-769 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Li F J, Li Z J, Zhang L, Tang X Q, Deng Q, Lang X H, Huang Y, Yao X F and Wang Y. 2010. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite[J]. *Mineral Deposits*, 29(3): 461-475 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Q H, Deng J F and Ma D Q. 2002. Thinking and method of granite study[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-179 (in Chinese with English abstract).
- Xun W Y, Qu X M, Hou Z Q, Chen W S, Yang Z S and Cui Y H.

2005. Fluid inclusion studies of the Xiongcu copper-gold deposit in central Gangdese Tibet[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 301-310 (in Chinese with English abstract).
- Xun W Y, Qu X M, Hou Z Q, Yang D, Yang Z S, Cui Y H and Chen W S. 2006a. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Xiongcu copper-gold deposit in central Gangdese, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 25(3): 243-251 (in Chinese with English abstract).
- Xun W Y, Qu X M, Hou Z Q, Yang Z S, Pan F C, Cui Y H, Chen W S, Yang D and Lian Y. 2006b. The Xiongcu copper-gold deposit in Tibet: characteristics, genesis, and geodynamic application[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1392-1406 (in Chinese with English abstract).
- Yang X M, Yang X Y and Chen S X. 2000. *Rock geochemistry*[M]. Hefei: China Science and Technology University Press. 40-166 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, Xia D X, Song Y C and Li Z. 2008. Relationship between western porphyry and mineralization in Qulong copper deposit of Tibet and its enlightenment to further exploration[J]. *Mineral Deposits*, 27(1): 28-36(in Chinese with English abstract).
- Zhang L, Tang J X, Deng Q, Huang Y, Lang X H, Lang J and Tafti R. 2007. Study on mineral compositions of the ore from the Xiongcu Cu(Au) deposit in Xietongmen County, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 34(3): 318-326 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Pan G T, Wang L Q, Mo X X, Zhao Z D, Zhou C Y, Liao Z L, Dong G C and Yuan S H. 2008. Spatial-temporal distribution and tectonic setting of Jurassic magmatism in the Gangdise belt, Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(4): 458-468 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Pan G T, Wang L Q, Mo X X, Zhao Z D, Zhou C Y, Liao Z L, Dong G C and Yuan S H. 2008. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(9): 1535-1550 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Mo X X, Zhao Z D, Zhu Y N, Pan G T, Wang L Q and Liao Z L. 2009. Permian and Early Cretaceous tectonomagmatism in southern Tibet and Tethyan evolution: New perspective[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 1-20 (in Chinese with English abstract).
- Zhou S, Mo X X and Mahoney J J. 2002. Geochronology and Nd and Pb isotope characteristics of gab bro dikes in the Luobusha ophiolite, Tibet[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(2): 143-146.
- Zhou S. 2002. Study on the Geochronology of Several Key regions of Gangdese magmatic and Yalung Zangbo Ophiolite Belts, Tibet (dissertation for Doctor degree)[D]. Beijing: China University of Geosciences. 70-72 (in Chinese with English Abstract).
- Zhang H F, Xu W C, Guo J Q, Zong K Q, Cai H M and Yuan H L. 2007. Zircon U-Pb and Hf isotopic composition of deformed granite in the southern margin of the Gangdese belt, Tibet: Evidence for early Jurassic subduction of New-Tethyan oceanic slab[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1347-1353(in Chinese with English Abstract).

附中文参考文献

- 陈 炜, 马昌前, 边秋娟, 胡远清, 龙桃成, 喻水林, 陈冬明, 屠江海. 2009. 西藏得明顶地区叶巴组火山岩地球化学特征和同位素 U-Pb 年龄证据[J]. *地质科技情报*, 8(3): 31-40.
- 耿全如, 茅燕石. 1991. 新疆东天山细碧角斑岩系的岩相学、矿物学特征和成因[J]. *中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊*, 15: 119-132.
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄 卫. 2004. 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.
- 纪伟强, 吴福元, 钟孙霖, 刘传周. 2009. 西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. *中国科学*, 39(7): 849-871.
- 李光明, 芮宗瑶. 2004. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. *大地构造与成矿学*, 28(2): 165-170.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 李志军, 黄 勇, 王成辉, 陈 渊, 张 丽. 2010. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的岩石地球化学特征: 对成矿构造背景的约束[J]. *地质与勘探*, 46(5): 887-898.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周 肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张风琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. *高校地质学报*, 11(3): 281-290.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 22(3): 521-533.
- 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺. 2007a. 西藏雄村特大型铜金矿床容矿火山岩得成因及对成矿得贡献[J]. *地质学报*, 81(7): 964-971.
- 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺. 2007b. 三个锆石 U-Pb-SHRIMP 年龄对雄村特大型铜金矿床容矿火成岩时代的重新厘定[J]. *矿床地质*, 26(5): 512-518.
- 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及青藏高原隆升[J]. *矿床地质*, 22(3): 217-225.
- 唐菊兴, 张 丽, 黄 勇, 王成辉, 李志军, 邓 起, 郎兴海, 王 友. 2009. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 28(6): 759-769.
- 唐菊兴, 黎凤佑, 李志军, 张 丽, 唐晓倩, 邓 起, 郎兴海, 黄 勇, 姚晓峰, 王 友. 2010. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限: 锆石 U-Pb、辉钨矿 Re-Os 年龄的证据[J]. *矿床地质*, 29(3): 461-475.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨. 2002. *花岗岩研究思维与方法*[M]. 北京: 地质出版社. 1-179.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 陈伟十, 杨竹森, 崔艳合. 2005. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床流体包裹体研究[J]. *岩石矿物学杂志*,

24(4): 301-310.

- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨 丹, 杨竹森, 崔艳合, 陈伟十. 2006a. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨[J]. 矿床地质, 25(3): 243-251.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨竹森, 潘凤雏, 崔艳合, 陈伟十, 杨丹, 连 玉. 2006b. 西藏雄村大型铜金矿床的特征、成因和动力学背景[J]. 地质学报 80(9): 1392-1406.
- 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜. 2000. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社. 40-166.
- 杨志明, 侯增谦, 夏代详, 宋玉财, 李 政. 2008. 西藏驱龙铜矿西部斑岩与成矿关系的厘定: 对矿床未来勘探方向的重要启示[J]. 矿床地质, 27(1): 28-36.
- 张 丽, 唐菊兴, 邓 起, 黄 勇, 郎兴海, Jim Lang, Reza Tafti. 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿矿石物质成分研究及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学学报), 34(3): 318-326.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008a. 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境[J]. 地质通报, 27(4): 458-468.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008b. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论[J]. 地质通报, 27(9): 1535-1550.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 朱耀龄, 潘桂棠, 王立全, 廖忠礼. 2009. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点[J]. 地学前缘, 16(2): 1-20.
- 周 肃. 2002. 西藏冈底斯岩浆岩带及雅鲁藏布蛇绿岩带关键地段同位素年代学研究(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学. 70-72.
- 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 宗克清, 蔡宏明, 袁洪林. 2007. 冈底斯南缘变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成: 新特提斯洋早侏罗世俯冲作用的证据[J]. 岩石学报, 23(6): 1347-1353.

<http://www.kcdz.ac.cn/>