

西藏雄村斑岩铜金矿床 II 号矿体元素地球化学特征及其指示意义

黄 勇^{1,3} 唐菊兴² 丁 俊³ 郎兴海¹ 李志军¹ 张 丽³

(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, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 中国地质调查局 成都地质调查中心, 四川 成都 610082)

摘 要: 雄村铜金矿是冈底斯成矿带上新发现的岛弧型斑岩铜金矿床, 矿床由 3 个矿体组成, II 号矿体位于 I 号矿体北西侧 3 km 处。II 号矿体中铜、金、银矿化主要分布在早期钾-硅酸盐化带以及绢云母-白云母-石英-硫化物带中, 早期钾-硅酸盐化的典型矿物组合为黑云母 + 磁铁矿 ± 钾长石 + 黄铜矿 + 黄铁矿, 热液磁铁矿含量较高。元素空间分布特征以及相关分析表明, Cu 和 Au、Ag 呈显著正相关, 黄铜矿是 Au 和 Ag 的主要载体, 分布在矿体中心。Cu 与 K、Rb 呈正相关, 而与 Na 呈负相关的特点表明矿化与钾质交代关系密切, 晚期矿化以分布在外围的细脉状、脉状方铅矿和闪锌矿化为主。由矿体中心向外, 与矿化有关的 16 种元素构成 Cu、Au、Ag、K、Rb、Ba-Mo-Co、Ni-Pb、Zn、Mn、Ag、Sb-Na 元素分带, 元素带状分布特征与蚀变矿化分带吻合。分布在外围的 Na 同时受钾质交代过程中 Na 元素向外迁移作用以及早期深部高温环境下的钠质-钙质蚀变共同控制。元素空间分带特征与蚀变与矿化分带机理类似, 受热液流体演化、运移、温压条件和原岩组分等综合因素控制, 分带特征对今后的找矿与勘探工作具有一定的指示意义。

关键词: 元素地球化学 相关性分析 斑岩铜金矿床 雄村 冈底斯 西藏

中图分类号: P618.2; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)03-0361-10

Element geochemical characteristics of No. II ore body of the Xiongcu porphyry copper-gold deposit in Tibet

HUANG Yong^{1,3}, TANG Ju-xing², DING Jun³, LANG Xing-hai¹, LI Zhi-jun¹ and ZHANG Li³

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Beijing 100037, China; 3. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610082, China)

Abstract: The Xiongcu copper-gold deposit is an island arc porphyry copper-gold deposit newly discovered in the Gangdise metallogenic belt. It consists of three ore bodies. No. II ore body is located 3 km northwest of No. I ore body. Cu, Au, and Ag mineralizations occur in early K-silicate alteration zone and sericite-muscovite-quartz-sulphide zone. Early K-silicate alteration is characterized by biotite + magnetite ± K-feldspar + chalcopyrite + pyrite, and is rich in magnetite. Element distribution characteristics and correlation analysis show that Cu is well correlated to Au and Ag. Au- and Ag-bearing chalcopyrite is mainly distributed at the center of the ore deposit. Cu is positively related to K, Rb and negatively related to Na, suggesting that the mineralization is mainly

收稿日期: 2011-09-08; 修订日期: 2012-03-16

基金项目: 自然科学基金资助项目(41172077); 国家 973 项目(2011CB403103); 中央公益性行业科研专项课题(200911007-02)

作者简介: 黄 勇(1982-), 男, 在读博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: yong.huang@hotmail.com; 通讯作者: 唐菊兴(1964-), 男, 研究员, 主要从事矿床学及区域成矿规律研究, E-mail: tangjuxing@126.com.

related to early K-silicate alteration. Later mineralization occurs around the ore body mainly as sphalerite and galena veins. From the center to the outer part, sixteen elements related to Cu, Au and Ag are zoned around the center, i. e., Cu, Au, Ag, K, Rb, Ba-Mo-Co, Ni-Pb, Zn, Mn, Ag, Sb-Na. The element distribution is similar to zoned alteration. They are controlled by such factors as hydrothermal fluid, translation condition, p - T and primary composition of the host rock. The zoned element characteristics and assemblies are of guiding significance for future exploration.

Key words: element geochemistry; correlation analysis; component analysis; porphyry copper-gold deposit; Xiongacun; Gangdise; Tibet

西藏日喀则地区雄村斑岩型铜金矿床是近年来在冈底斯成矿带上发现的另一特大型斑岩铜金矿床,矿床由 3 个 NW 向并近于等距分布的矿体组成。雄村斑岩铜矿属特大型富金型斑岩铜矿床,截止到 2010 年,Continental Minerals Corporation 公司(大陆矿业)已在雄村斑岩铜矿区施工 205 个勘探钻孔,获得的铜金属量已超过 200 万吨,金金属量超过 200 吨,银金属量超过 1 000 吨。前人已深入研究过 I 号矿体(唐菊兴等, 2006^①, 2009a, 2009b, 2010a; 徐文艺等, 2005; 曲晓明等, 2007; 张丽等, 2007; 郎兴海等, 2010; 黄勇等, 2011a, 2011b; Reza *et al.*, 2009), 但对 II 号矿体的研究相对薄弱(唐菊兴等, 2010a; 黄勇等, 2011a)。II 号矿体位于 I 号矿体北西侧 3 km 处,在蚀变、矿物组合、次生富集特征上均与 I 号矿体存在明显的区别。斑岩铜矿的蚀变与矿化过程必然伴随着物理和化学的变化过程,而这种变化不仅反映在热液流体的温度、压力变化等方面上,同样也反映在元素的空间分布特征上,因此深入研究 II 号矿体的元素地球化学特征,具有理论与现实意义。

1 矿床地质特征

雄村铜金矿位于冈底斯成矿带中段南缘,区内出露的地层有中下侏罗统火山-沉积岩、中下侏罗统安山质凝灰岩和全新统冲积物-崩积物。中下侏罗统雄村组安山质凝灰岩是 I 号矿体的含矿围岩,其 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 176 ± 5.0 Ma(唐菊兴等 2010a)。II 号矿体中北东侧钻孔中上部见有安山质凝灰岩,主要呈隐晶质纹层状结构。区内出露的岩浆岩有成矿期的角闪石英闪长玢岩和含眼球状石英斑晶的石英闪长斑岩(图 1),其锆石 SHRIMP

U-Pb 年龄为 173 ± 3.0 Ma,成矿晚期出露含粗粒石英斑晶的石英闪长斑岩,成矿期后出露穿插矿体的安山岩脉、煌斑岩脉、闪长岩脉。成矿期斑岩体属钙碱性至高钾钙碱性系列(黄勇等 2011a)。

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、NW 或 NE 展布,主要断层走为 $265^\circ \sim 280^\circ$,倾角 $40^\circ \sim 50^\circ$,局部 $50^\circ \sim 78^\circ$,且普遍平行于火山岩地层。F1 断层和 F2 断层是 I 号矿区最主要的两条断层。F1 断层贯穿整个区域,呈 $265^\circ \sim 280^\circ$ 方向展布于 I 号矿区中部,破碎带宽一至数十米不等,断层性质具典型的先压后张特征,倾向北,倾角一般在 $40^\circ \sim 50^\circ$,局部 $60^\circ \sim 75^\circ$ 。F2 断层呈 $265^\circ \sim 280^\circ$ 方向展布,贯穿于 I 号矿区矿区的北侧,倾向北,倾角一般在 50° 以上,最大可达 73° ,破碎带宽约 10 m(黄勇等 2011a)。F5、F6 断层贯穿 II 号矿区, F5 断层呈 $120^\circ \sim 160^\circ$ 方向展布,产状较陡,一般在 50° 以上。F6 断层呈 $30^\circ \sim 60^\circ$ 方向沿 II 号矿区北西侧小沟展布,破碎带宽度一般在 3~5 m 左右,断层倾向北西,倾角较陡,一般在 $55^\circ \sim 65^\circ$ (图 1)。

II 号矿体内主要的蚀变类型有早期钾硅酸盐化,特征矿物组合为黑云母-磁铁矿 \pm 钾长石。早期钾硅酸盐化普遍被细粒绢云母-白云母-石英-硫化物蚀变交代,主要金属矿物均产于钾硅酸盐化带和细粒绢云母-白云母-石英-硫化物蚀变带中。绿泥石-绿帘石 \pm 方解石蚀变沿外围和裂隙交代早期钾硅酸盐化和绢云母-白云母-石英蚀变,矿体底部和南侧见钠长石-阳起石-绿帘石蚀变(钠质-钙质蚀变)交代早期蚀变。矿化以细脉浸染状和细脉状为主,黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿含量较高,闪锌矿次之(图 2),并见有少量的辉钼矿、磁黄铁矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、赤铁矿、钛铁矿。

① 唐菊兴,李志军,钟康惠,等. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告. 成都:成都理工大学档案馆.

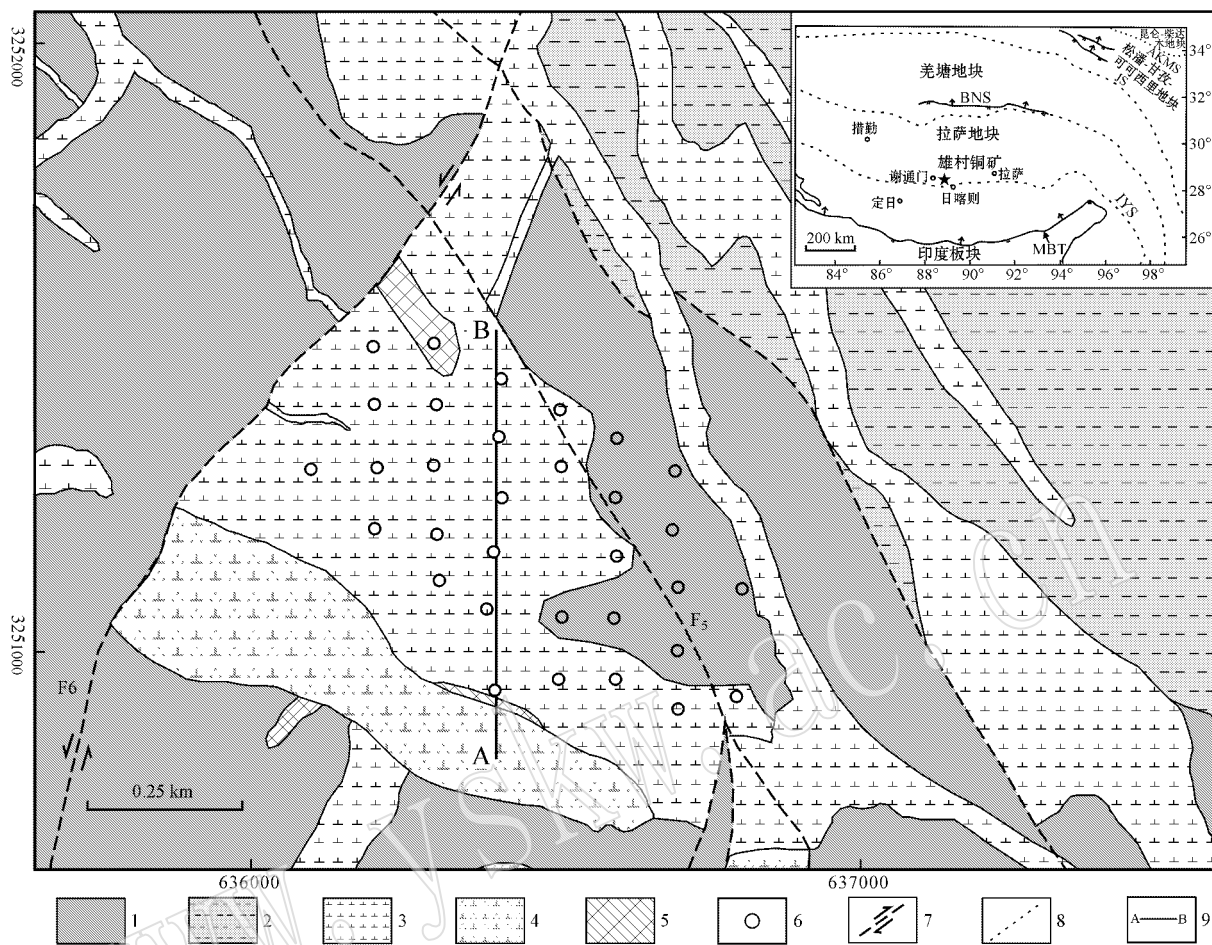


图 1 雄村斑岩铜金矿床 II 号矿体地质简图 [据 Oliver (2006)^①、唐菊兴等 (2006)^②等修改, 坐标系统: WGS 84, N45]

Fig. 1 Geological map of No. II ore body of the Xiongcu porphyry copper-gold deposit

(after Oliver, 2006^①; Tang Juxing *et al.*, 2006^②)

- 1—中下侏罗统雄村组安山质凝灰岩; 2—中下侏罗统雄村组火山沉积岩; 3—中下侏罗统角闪石英闪长玢岩; 4—侏罗系含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩; 5—侏罗系含眼球状石英斑晶的石英闪长玢岩; 6—钻孔位置; 7—平移断层; 8—推测断层; 9—剖面位置
- 1—Early-Middle Jurassic andesitic tuff; 2—volcanic-sedimentary rocks of Lower-Middle Jurassic Xiongcu Formation; 3—Early-Middle Jurassic hornblende diorite porphyry; 4—Jurassic coarse augen quartz bearing diorite porphyry; 5—Jurassic augen quartz bearing diorite porphyry; 6—bore-hole location; 7—strike-slip fault; 8—inferred fault; 9—location of cross section

2 研究方法

II 号矿体按照 100 m×100 m 工程间距, 共计施工 34 个勘探钻孔。每个钻孔按 2~3 m 间距取样, 取样时均未跨越各岩性接触带取样, 共计采取 7 994 件样品, 同时插入 5% 的重复样、5% 的标准样和 1% 的空白样控制分析质量。样品分析由加拿大 ACME

实验室完成, 每件样品共计分析 41 种元素。本次研究数据均由 Continental Minerals Corporation (大陆矿业) 提供。在剔除第四系、成矿期后各类脉体的分析数据以后 (剩余 7 661 件样品), 采用 SPSS13 统计分析软件计算出各元素间的相关性, 并筛选出与矿化相对密切的 15 种元素 (表 1)。用 Surfer8.0 绘制上述 15 种元素的南北剖面空间分布图 (图 3), 并通过因子关联分析元素之间的关系, 阐述元素空间分布

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

② 唐菊兴, 李志军, 钟康惠, 等. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告. 成都: 成都理工大学档案馆。

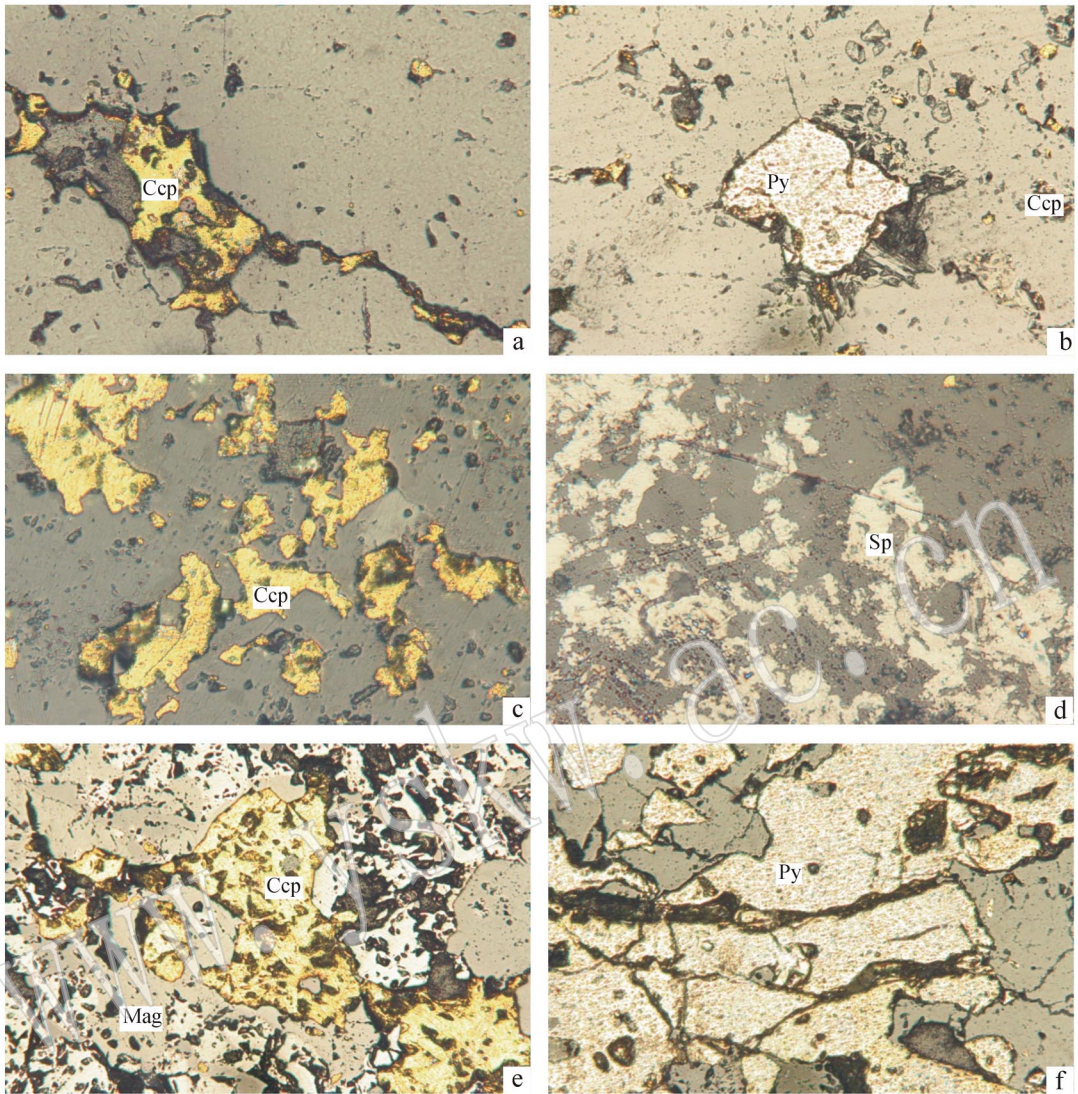


图 2 样品显微镜下照片

Fig. 2 Micrographs of samples

a—裂隙充填状黄铜矿(ZK7223, 324.9 m); b—半自形黄铁矿(ZK7226, 141.4 m); c—浸染状黄铜矿(ZK7229, 148.6 m);
d—闪锌矿(ZK7229, 148.6 m); e—石英-磁铁矿-硫化物脉中的黄铜矿和磁铁矿; f—黄铁矿脉(ZK7238, 338.8 m); Cpy—黄铜矿;
Py—黄铁矿; Mag—磁铁矿; Sph—闪锌矿

a—fissure-filling chalcopyrite (ZK7223, 324.9 m); b—pyrite (ZK7226, 141.4 m); c—dissemination chalcopyrite (ZK7229, 148.6 m); d—
sphalerite (ZK7229, 148.6 m); e—magnetite and chalcopyrite within quartz-magnetite-sulfide vein (ZK7238, 141.4 m); f—pyrite vein (ZK7238,
338.8 m); Cpy—chalcopyrite; Py—pyrite; Mag—magnetite; Sph—sphalerite

模型,进而探讨元素空间分布的指示意义。

3 元素空间分布特征

元素空间分布图采用 Surfer8.0 软件绘制完成(图 4)。依据图 4 中各元素的空间分布以及元素间的相关关系,得到以下认识:

主成矿元素 Cu、Au、Ag 套合良好(图 4a、4b、4c),矿体倾向北东,矿化在钻孔 7229 以及 7238 深

部富集程度加强,且并未圈闭,近地表 Au 和 Ag 矿化富集程度较高,与 I 号矿体类似,近地表次生富集作用使得 Cu、Au、Ag 品位显著升高。II 号矿体中主要的含铜矿物为黄铜矿,并含少量辉铜矿、蓝辉铜矿、微量黝铜矿、斑铜矿和铜蓝。相关性分析同样显示铜和金、银的相关系数分别为 0.85 和 0.74(表 1),因此 Au 和 Ag 主要呈微粒金分布在黄铜矿中,也可见微量的银金矿,该特征与 I 号矿体的矿物组合类似,但 Cu 和 Au 的富集程度均弱于 I 号矿体。

表 1 雄村 II 号矿体元素相关性分析表
Table 1 Element correlation analyses of Xionggun No. II ore body

	Au	Cu	Ag	As	Ba	Co	K	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Sb
Cu	0.85													
Ag	0.74	0.82												
As	-0.02*	0.01*	0.20											
Ba	0.13	0.19	0.13	-0.11										
Co	0.03	0.12	0.06	0.07	-0.03									
K	0.25	0.31	0.27	-0.05	0.61	0.03**								
Mn	-0.23	-0.21	-0.01**	0.30	-0.14	0.13	-0.23							
Mo	0.33	0.40	0.31	-0.05	0.18	0.26	0.22	-0.14						
Na	-0.01**	-0.06	-0.12	-0.10	-0.20	-0.01**	-0.33	-0.01	-0.09					
Ni	0.12	0.14	0.11	0.08	-0.14	0.50	0.05	0.13	0.10	0.09				
Pb	-0.03**	0.01	0.20	0.34	-0.01**	-0.02**	-0.01**	0.31	-0.08	-0.02	0.03			
Rb	0.18	0.22	0.20	-0.01**	0.36	0.24	0.80	-0.11	0.29	-0.30	0.21	-0.04		
Sb	0.01	0.03	0.20	0.58	-0.17	-0.04	-0.10	0.39	-0.07	-0.09	0.01	0.28	-0.07	
Zn	0.07	0.09	0.30	0.43	-0.011	0.19	-0.06	0.55	0.02**	-0.05	0.22	0.55	0.07	0.37

* 置信度小于 95% , ** 置信度 95% , 其余置信度为 99% , $n = 7\ 661$ 。

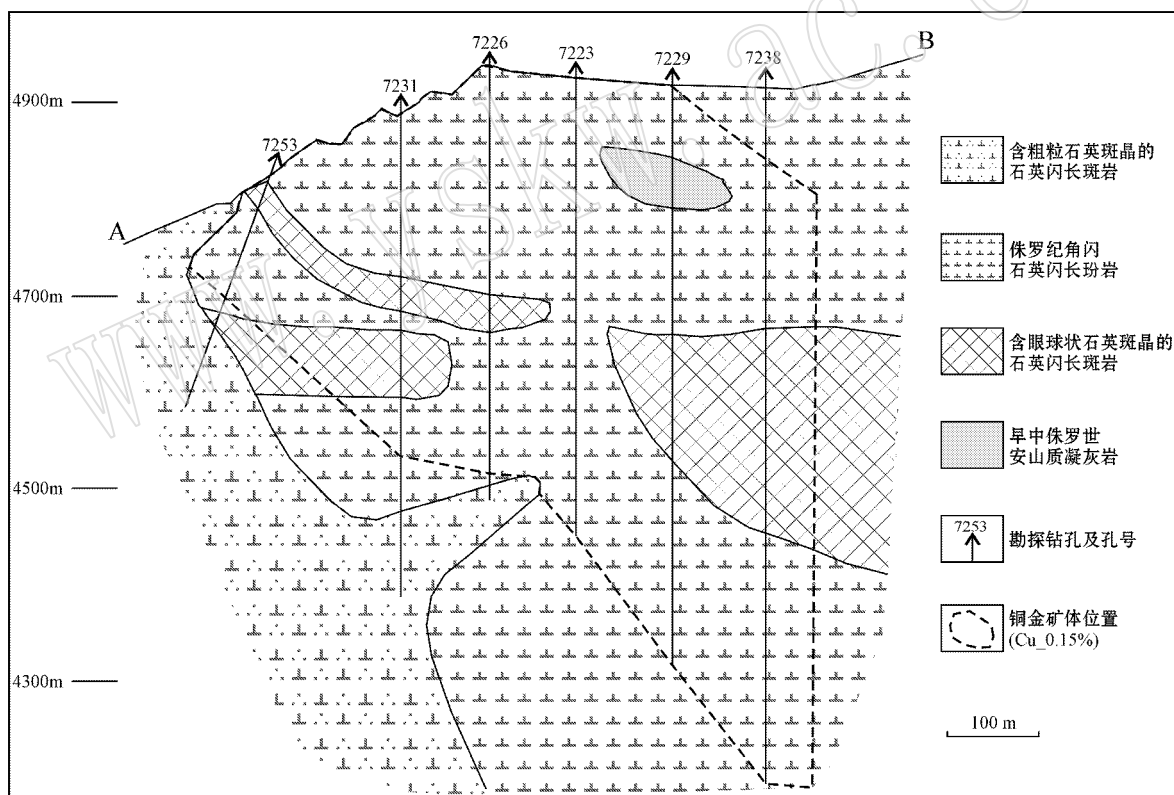


图 3 A—B 剖面示意图
Fig. 3 A—B cross section

Mo 元素在近地表矿化较弱,但钻孔 7238 深部明显富集。相比 I 号矿体,II 号矿体具有相对较高的 Mo 含量(平均为 47.2×10^{-6} ,最高可达 $1\ 471.8 \times 10^{-6}$)。国内外现已报道的斑岩铜矿中钼矿化都与钾交代有关(Cannell *et al.*, 2005)随着钾质交代的减弱,Cu、Au、Ag、Mo 含量显著降低。Mo、Au、Cu

具有相对较高的相关系数(表 1)相似的元素空间分布特征也印证了上述观点(图 4a、4b、4d)。II 号矿体中 Mo 的独立矿物只有辉钼矿,辉钼矿分布在石英-辉钼矿脉中或呈浸染状分布。显微镜下鉴定表明辉钼矿以 3R 型居多,2H 型较少,表明辉钼矿主要形成于中温阶段。

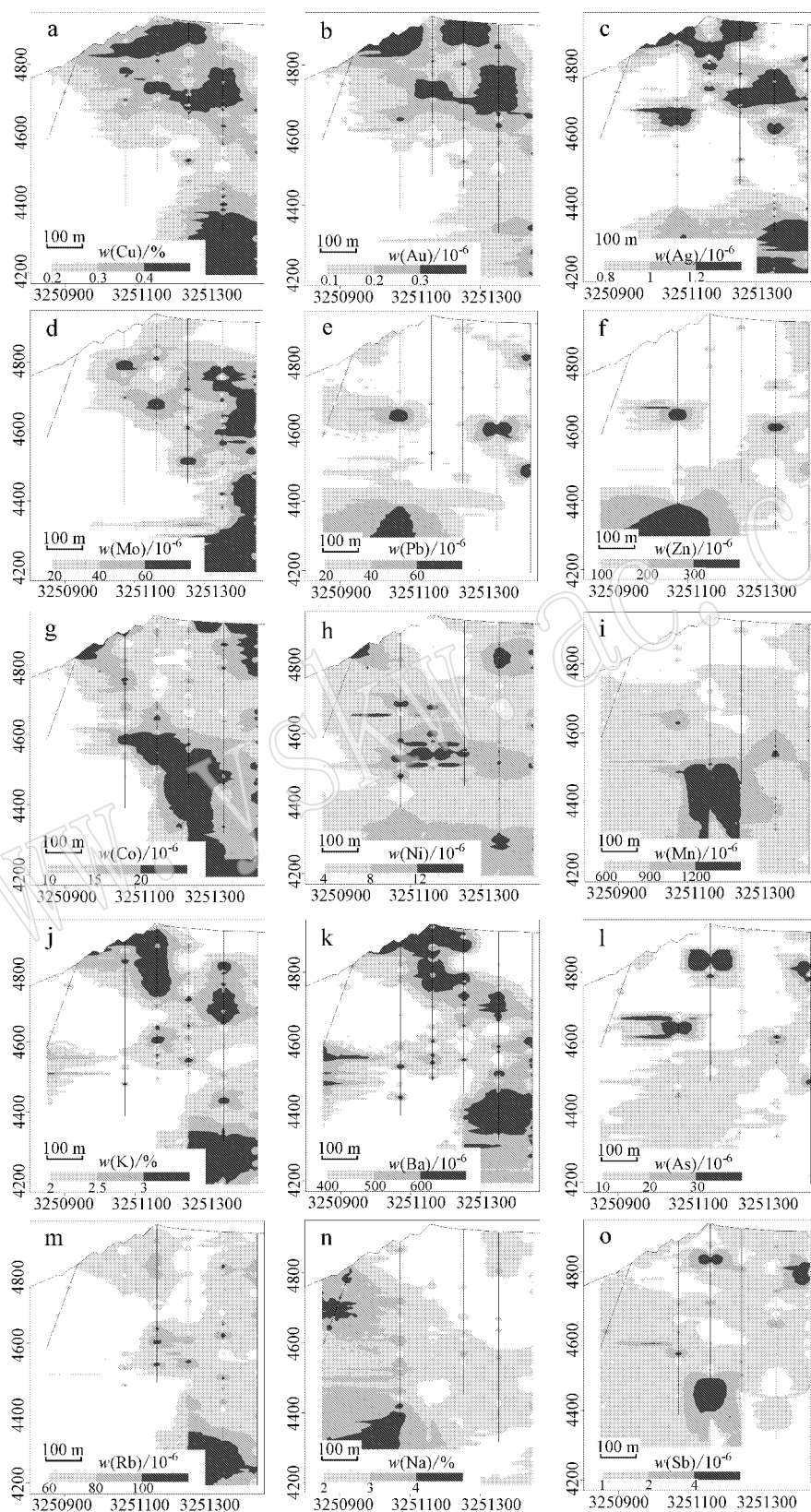


图 4 A—B 剖面图元素含量分布图

Fig. 4 Distribution of element concentrations of A—B cross section

Pb 和 Zn 的独立矿物有方铅矿和闪锌矿,两者通常紧密共生(图 4e、4f),呈脉状产出,量少。Zn 与 Ag、Sb、Mn 的相关性较高(表 1),Mn 与 Zn 的离子半径相近,可广泛类质同像 Zr(刘英俊等,1984),暗示闪锌矿中含有 Mn、Ag、Sb。与 I 号矿体类似,II 号矿体中闪锌矿的含量同样很低,属晚期矿化,因此闪锌矿中的 Ag 含量对矿体中 Ag 的富集贡献不大。

II 号矿体中未发现 Co 和 Ni 的独立矿物,Co 与 Ti 具有较高的相关性表明(相关系数为 0.43),部分 Co 元素类质同像 Ti 而进入金红石以及钛铁矿中。此外辉钼矿中也含有微量的 Co。Co 与硫的相关系数达 0.62,这反映出热液阶段 Co 明显聚集。Ni 与 Fe、Al、Mg 具有较高的相关性,分别为 0.45、0.53、0.35,暗示 Ni 主要以类质同像进入铁镁质矿物中,可能有部分 Ni 进入黄铁矿和钛铁矿中。

K 和 Na 是常见的造岩元素,两种元素的空间分布特征可以有效指示热液蚀变。II 号矿体中与矿化关系密切的蚀变类型是早期钾-硅酸盐化和细粒绢云母-白云母-石英-硫化物蚀变,黑云母、白云母、钾长石、绢云母均为富钾矿物,因此 K 元素与 Cu、Au、Ag 具有较高的相关性以及相似的空间分布特征(图 4j)。K 与 Rb 的相关系数为 0.8,与 Ba 的相关系数为 0.61,这是因为 Rb 和 Ba 是分散元素,常类质同像进入长石和云母的含钾矿物中(图 4k、4m)。与 I 号矿体不同,II 号矿体中常见钠质-钙质蚀变,以钠长石+阳起石+磁铁矿±绿帘石组合为主,通常呈脉体两侧的蚀变晕(envelope)产出。世界上也见有关于斑岩铜矿中的钠质-钙质蚀变的报道,如巴布亚新几内亚的 Panguna 和智利的 EI Teniente 斑岩矿床(Ford, 1978; Cannell *et al.*, 2005)。这种蚀变形成深度较大,高温环境,受循环的大气降水控制,常交代早期形成的钾硅酸盐化,并贫金属硫化物,易与晚期青磐岩化相混淆。钠质-钙质蚀变以及晚期含粗粒石英斑晶的石英闪长玢岩含有较高的 Na 元素,因此 Na 与 K 和 Rb 呈负相关(相关系数 -0.33,图 4n),并分布在矿体外围和深部。

Sb 的独立矿物有黝铜矿($Cu_{12}Sb_4S_{13}$),但黝铜矿是微量矿物,因此 Sb 与 Cu、Au 基本没有相关性,而与 Ag、As、Pb、Zn 相关性相对较强(图 4o),Sb 常以类质同像分布于闪锌矿和方铅矿中,这种元素组合特征代表了低温组分端员。

综上所述,II 号矿体具有明显的元素空间分带特征,矿体中心以 Cu、Au、Ag、Mo 为主,钻孔 7229 和

7238 深部明显富集,且并未圈闭。K、Rb、Ba 构成早期钾质蚀变中心,其浓集中心与 Cu、Au、Ag 浓集中心一致。Co 和 Ni 分布在矿体中心外侧,Pb、Zn、Mn、Ag、Sb 分布在矿体外围。由矿体中心向外,构成 Cu、Au、Ag、K、Rb、Ba-Mo-Co、Ni-Pb、Zn、Mn、Ag、Sb-Na 元素分带特征。分布在外围的 Na 同时受钾质交代过程中 Na 元素向外迁移作用以及早期深部高温环境下的钠质-钙质蚀变共同控制。

4 因子分析

因子分析采用 SPSS13.0 软件完成,在不损失或少损失信息的情况下,因子分析可有效概括出关键性的指标。首先将数据输入 SPSS 软件中,绘制出碎石点图(图 5)。由图 5 中可以看出前 5 个公共因子的特征值大于 1,因此选择前 5 个公共因子建立因子模型(表 2),通过因子关联识别地质意义。

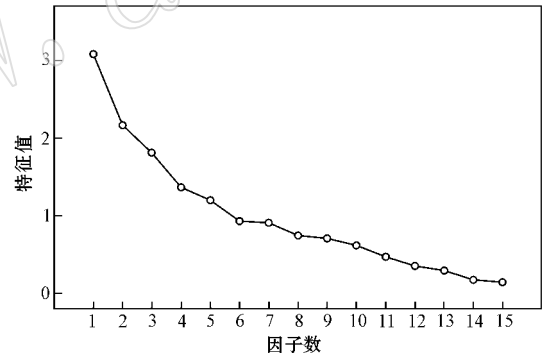


图 5 因子分析碎石点图

Fig. 5 Scree plot

第 1 主因子由变量 Cu、Au、Ag、Mo 组成,代表主成矿阶段铜、金、银、钼矿化,主成矿阶段以黄铜矿化为主,Au 和 Ag 分布在黄铜矿中,Mo 的独立矿物为辉钼矿,常见辉钼矿-石英硫化物脉穿插早期石英硫化物脉,依据脉体相互穿插关系,辉钼矿化稍晚于早期铜矿化,因子分析与元素相关性及其空间分布特征吻合。

第 2 主因子由变量 K、Na、Ba、Rb 组成,代表了早期钾-硅酸盐化,金属矿化主要产于早期钾-硅酸盐蚀变带中。钾-硅酸盐化蚀变以黑云母+磁铁矿±钾长石+黄铜矿+黄铁矿组合为特征,磁铁矿含量较高,伴随着早期钾硅酸盐化被绢云母-白云母-石英-硫化物交代过程,Na 易溶于水形成 NaCl 向外迁移,此外早期钾-硅酸盐化深部被钠质-钙质蚀变

交代,强钠质-钙质蚀变区域矿化很弱或无矿化,因此 Na 的因子贡献为 -0.511。

表 2 旋转因子载荷矩阵
Table 2 Rotated component matrix

	因子				
	1	2	3	4	5
Au	0.889	0.003	-0.032	-0.088	0.014
Cu	0.931	0.086	-0.005	-0.067	0.120
Ag	0.829	0.075	0.240	0.254	-0.003
As	0.016	-0.010	0.834	0.048	0.230
Ba	0.051	0.718	0.013	-0.157	-0.116
Co	0.074	0.058	-0.058	0.069	0.775
K	0.181	0.900	0.006	-0.107	0.049
Mn	-0.138	-0.101	-0.088	0.779	0.071
Mo	0.323	0.159	-0.024	-0.038	0.048
Na	-0.066	-0.511	-0.043	-0.325	0.118
Ni	0.081	-0.033	0.162	0.077	0.830
Rb	0.085	0.807	-0.009	0.038	0.232
Sb	0.027	0.013	0.806	-0.045	-0.023
Zn	0.085	0.014	0.224	0.743	0.153
Pb	0.044	0.042	0.525	0.382	-0.127

第 3 主因子由变量 As、Sb、Pb 组成,第 4 主因子由变量 Mn、Zn、Pb 组成。第 3 主因子和第四主因子共同指示晚期中低温脉状铅锌矿化端员,As 和 Sb 以类质同像分布在方铅矿和闪锌矿中。

第 5 主因子由变量 Co 和 Ni 组成,Co 和 Ni 分布在含钛矿物中,如金红石和钛铁矿,可能有部分 Co 和 Ni 分布在铁镁质矿物中,这种组合代表高温组分端员。

因子分析表明 II 号矿体经历了早期的 Cu、Au、Ag 矿化以及晚期的 Pb、Zn、Ag 矿化,早期矿化以细脉浸染状黄铜矿+黄铁矿化为主,晚期矿化以脉状方铅矿+闪锌矿、黄铁矿化为主。早期矿化主要产于早期钾-硅酸盐蚀变和绢云母-白云母-黄铁矿-石英带中,晚期矿化分布在矿体外围,因子分析与元素空间分布以及地质观察吻合。

5 讨论

在已研究的区域中,富金型斑岩铜金矿床主要集中分布在西南太平洋地区。相对于岛弧环境而言,产于陆缘造山的斑岩铜矿趋向于富钼贫金,如科迪勒拉-安第斯成矿带(Misra, 2000)。近年来在冈底斯成矿带新发现的大陆环境斑岩铜矿床,趋向于富钼而贫金,如驱龙、甲玛、宫厅、冲江等大型斑岩矿

床(唐菊兴等, 2010b)。但也有很多例外,如位于美国西南部大陆边缘环境的 Bingham 斑岩矿床富金且同样富钼,位于澳大利亚克拉通前缘逆冲断层带内的 Ok Tedi 和 Grassber 矿床富金而贫钼,位于阿尔卑斯-喜马拉雅造山运动带的 Saindak 矿床也同样富金(Misra, 2000)。Sillitoe (1979) 详细探讨了富金型斑岩铜矿床的特征后指出,控制斑岩铜矿富金的因素与动力背景、主岩成分、围岩成分、剥蚀率以及矿体规模均无明显关系。但富金型斑岩型铜金矿与大部分贫金型斑岩铜矿一样,具有统一的蚀变矿化分带模式(George, 1947; Guilbert, 1995; Sillitoe, 1997)而这种分带也可体现在元素空间分布上。雄村 II 号矿体 15 种元素的相关性、空间分布特征以及野外地质观察表明,矿体中心以细脉浸染状 Cu、Au、Ag 矿化为主,Au 和 Ag 主要的寄主矿物为黄铜矿,Mo 矿化位于矿体中心,但平均品位较低(45.9×10^{-6})。铜金矿化主要产于早期钾-硅酸盐化带和绢云母-白云母-黄铁矿-石英带中,因此 Cu、Au、Ag、Mo 与 K、Rb 相关性较高。早期钾硅酸盐化带中见有较高含量的磁铁矿,世界上除 Bingham 和 Ok Tedi 富金型斑岩铜矿明显缺少磁铁矿外,其余所有大型富金型斑岩铜矿均含有较高的磁铁矿(Sillitoe, 1997)。II 号矿体中磁铁矿常分布在石英-黄铜矿脉中,属热液产物。Sun 等(2004)研究发现,磁铁矿结晶致使从残余岩浆中出溶的初始氧逸度降低,可能是弧环境斑岩矿床 Au、Cu 富集的重要机制。西藏除雄村外,班公湖成矿带的多不杂富金斑岩铜也富含磁铁矿(李光明等, 2007)的事实进一步印证了上述观点。脉状 Pb、Zn 矿化分布在矿体外围,Pb、Zn 与 As、Sb、Ag 相关性较高,这一组合代表了晚期低温组分端员。Pb、Zn 矿化很弱,不能作为伴生元素回收利用(Pb 平均含量 20×10^{-6} , Zn 平均含量 95×10^{-6} , 据 7 661 件样品统计)。

受早期高温钠质-钙质蚀变的交代,矿体深部 Na 元素含量较高。同时元素分布元素空间分布显示, K 元素趋向于向内富集,而 Na 趋向于向外迁移,矿体中心 K/Na 值明显高于外围,显示出钾质交代与富金斑岩铜矿存在亲和性(Sillitoe, 2000),岩浆弧环境、大陆碰撞带以及陆内环境富金型斑岩铜矿均是如此(Kerrick *et al.*, 2000; 侯增谦等, 2009)。高钾岩浆的成因机制有多种(详见江迎飞, 2009),虽然随着加厚陆壳的深入研究,使得部分学者认为地壳混染和低压演化作用对其有约束(Thorpe *et*

al., 1984; Hildreth and Morbath 1988; Esperanca et al., 1992; 江迎飞, 2009), 但多数学者认为弧岩浆富钾与俯冲板片脱水、释放的流体交代地幔密切相关(Gill, 1982), 而火山岩/侵入岩富 LILE 元素和轻稀土元素、 $TiO_2 < 1\%$ 、较小的 $Mg^\#$ 值(黄勇, 2011a)等特点进一步证实了这一观点, 因此原岩组分也是矿体中心富 K 的原因之一。

综上所述, II 号矿体由中心向外, 蚀变组合由早期钾硅酸盐化、绢云母-白云母-石英-硫化物蚀变向青磐岩化过渡, 矿体深部及南部发育有钠质-钙质蚀变, II 号矿体与 I 号矿体类似, 均富金而贫钼。由矿体中心向外形成 Cu、Au、Ag、K、Rb、Ba-Mo-Co、Ni-Pb、Zn、Mn、Ag、Sb-Na 元素分带, 元素带状分布特征与蚀变矿化分带吻合, 分布在外围的 Na 同时受钾质交代过程中 Na 元素向外迁移以及早期深部高温环境下的钠质-钙质蚀变共同控制。元素空间分带特征与蚀变矿化分带机理类似, 均受热液流体演化、运移、温压条件、原岩组分等综合因素的控制, 因此元素分带与蚀变矿化均可有效指示今后的找矿勘探工作。

6 结论

不同于 I 号矿体, 雄村铜矿 II 号矿体由内向外发育有早期钾硅酸盐化、白云母 + 绢云母 + 石英 + 硫化物蚀变、青磐岩化以及矿体深部和南部的钠质-钙质蚀变, 主要的金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿, 外围发育有方铅矿和闪锌矿化。

矿体主要分布在早期钾硅酸盐化和白云母 + 绢云母 + 石英 + 硫化物蚀变带中, 矿化以细脉浸染状矿化为主, 矿体中心见有较多的热液磁铁矿。元素空间分布表明 K 元素趋向于富集在矿体中心, 而 Na 趋向于向外迁移, 显示出钾质交代与斑岩铜金矿的亲合性。与 I 号矿体类似, II 号矿体同样富金而贫钼, 黄铜矿是 Au 和 Ag 的主要载体, 因此 Cu 与 Au、Ag 的空间分布、相关性以及因子分析均很吻合。Pb 和 Zn 的独立矿物是方铅矿和闪锌矿, 闪锌矿是部分 Ag 的载体, 方铅矿和闪锌矿主要呈脉状分布在矿体外围。由矿体中心向外构成了 Cu、Au、Ag、K、Rb、Ba-Mo-Co、Ni-Pb、Zn、Mn、Ag、Sb-Na 元素分带特征, 元素分带特征与蚀变和矿化特征吻合, 均受热液流体演化、运移、温压条件、原岩组分等综合因素控制的结果, 分带特征对今后的找矿勘探工作具有一定的指示意义。

References

- Cannell J, Cooke D R, Walshe J L, et al. 2005. Geology, mineralization alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit[J]. *Economic Geology*, 100: 979~1003.
- Esperanca S, Grisci G M, De Rosa R, et al. 1992. The role of the crust in the magmatic evolution of the island of Liparti (Aeolian Islands, Italy)[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 112: 450~462.
- Ford J H. 1978. A chemical study of alteration at the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea[J]. *Economic Geology*, 73: 703~720.
- George M S. 1947. Hydrothermal alteration in the porphyry copper deposit[J]. *Economic Geology*, 42: 319~352.
- Gill I. 1982. *Orogenic Undersites and Plate Tectonics*[M]. Verlag: Springer, 390.
- Guilbert J M. 1995. Geology, alteration, mineralization, and genesis of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Catamarca Province, Argentina[A]. *Pierce F W & Bolm J G. Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera*[C]. *Arizona Geological Society Digest* 20: 646~656.
- Hildreth W and Morbath S. 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 98: 455~489.
- Hou Zengqian and Yang Zhiming. 2009. Porphyry deposits in continental settings of China: Geological characteristics, magmatic-hydrothermal system, and metallogenic model[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(12): 1779~1817 (in Chinese with English abstract).
- Huang Yong, Ding Jun, Tang Juxing, et al. 2011b. Tectonic setting and source of ore-forming materials of No. 1 orebody in the Xiong-cun copper-gold deposit, Tibet[J]. *Journal of Chengdu university of Technology (Science & Technology Edition)*, 38(3): 306~312 (in Chinese with English abstract).
- Huang Yong, Tang Juxing, Lang Xinghai, et al. 2011a. Geochemistry characteristics of intrusion rocks and volcanic rock of Xiong-cun No. II copper-gold deposit, Tibet: Constraints on Rock formation and Tectonic settings[J]. *Mineral Deposits*, 32(2): 340~352 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yingfei. 2009. Progress of research on the characteristics and genesis of gold-rich porphyry-type copper deposits[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(12): 1997~2017 (in Chinese with English abstract).
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D, et al. 2000. The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution, and origin[J]. *Reviews in Economic Geology*, 13: 501~551.
- Lang Xinghai, Chen Yuchuan, Tang Juxing, et al. 2010. A discussion on genesis of Xiong-cun porphyry copper gold deposit, Xietongmen, Xizang (Tibet)—evidences from elements spatial distribution characteristics[J]. *Geological Review*, 56(3): 384~402 (in Chinese with English abstract).
- Li Guangming, Li Jinxiang, Qin Kezhang, et al. 2007. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza

- gold-rich porphyry copper-gold deposit in the Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 935~952(in Chinese with English abstract).
- Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, *et al.* 1984. *Element Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 242~336(in Chinese with English abstract).
- Misra K C. 2000. *Understanding Mineral Deposits*[M]. Kluwer Academic Publishers, 353~413.
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo and Xu Wenyi. 2007a. Petrogenesis of the ore-hosting volcanic rocks and their contribution to mineralization in Xiongcu superlarge Cu-Au deposit, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 81(7): 964~971(in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo and Xu Wenyi. 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).
- Reza T, James K M, James R L, *et al.* 2009. Jurassic U-Pb and Re-Os ages for the newly discovered Xietongmen Cu-Au porphyry district, Tibet: Implications for metallogenic epochs in the southern Gangdese belt[J]. *Economic Geology*, 104: 127~136.
- Sillitoe R H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits [J]. *Mineral Deposita*, 14: 161~174.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 373~388.
- Sillitoe R H. 2000. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery[J]. *Reviews in Economic Geology*, 13: 315~345.
- Sun W D, Richard J A, Vadim S K, *et al.* 2004. Release of gold-bearing fluids in convergent margin magmas prompted by magnetite crystallization[J]. *Nature (London)*, 431(7 011): 975~978.
- Tang Juxing, Huang Yong, Li Zhijun, *et al.* 2009a. Element geochemical characteristics of Xiongcu Cu-Au deposit in Xietongmen County, Tibe[J]. *Mineral Deposits*, 28(1): 15~28(in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Li Fengji, Li Zhijun, *et al.* 2010a. 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).
- Tang Juxing, Wang Denghong, Wang Xiongwu, *et al.* 2010b. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibe[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(4): 495~506(in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Zhang Li, Huang Yong, *et al.* 2009b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope ages of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 28(6): 759~766(in Chinese with English abstract).
- Thorpe R S, Francis P W and Callaghan L. 1984. Relative role of source composition, fractional crystallization and crustal contamination in the petrogenesis of Andean volcanic rock. *Philos[J]. Trans. R. Soc. Lond.*, A310: 657~692.
- Xu Wenyi, Qu Xiaoming, Hou Zengqian, *et al.* 2005. Fluid inclusion studies of the Xiongcu copper-gold deposit in central Gangdese, Tibe[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 301~310(in Chinese with English abstract).
- Zhang Li, Tang Juxing, Deng Qi, *et al.* 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).

附中文参考文献

- 侯增谦, 杨志明. 2009. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征、岩浆-热液系统与成矿概念模型[J]. *地质学报*, 83(12): 1779~1817.
- 黄勇, 丁俊, 唐菊兴, 等. 2011b. 西藏雄村铜金矿床 I 号矿体成矿构造背景与成矿物质来源探讨[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 38(3): 1~7.
- 黄勇, 唐菊兴, 郎兴海, 等. 2011a. 西藏雄村铜金矿床 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[J]. *矿床地质*, 33(2): 340~352.
- 江迎飞. 2009. 富金斑岩铜矿床研究进展[J]. *地质学报*, 83(12): 1997~2017.
- 郎兴海, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 2010. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿床成因讨论——来自元素的空间分布特征的证据[J]. *地质论评*, 56(3): 384~402.
- 李光明, 李金祥, 秦克章, 等. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据[J]. *岩石学报*, 23(05): 935~952.
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 1984. *元素地球化学*[M]. 北京: 科学出版社, 242~336.
- 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.
- 唐菊兴, 黄勇, 李志军, 等. 2009a. 西藏雄村铜金矿元素地球化学特征[J]. *矿床地质*, 28(1): 15~28.
- 唐菊兴, 黎风信, 李志军, 等. 2010a. 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、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据[J]. *矿床地质*, 29(3): 461~475.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 等. 2010b. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. *地球学报*, 31(4): 495~506.
- 唐菊兴, 张丽, 黄勇, 等. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 28(6): 759~769.
- 徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 等. 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.
- 张丽, 唐菊兴, 邓起, 等. 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿床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.