编号:0258-7106(2011)02-0327-12

# 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 1 号矿体的 蚀变与矿化特征<sup>\*</sup>

# 郎兴海<sup>1,3</sup>,唐菊兴<sup>2</sup>,李志军<sup>1</sup>,黄 勇<sup>1,3</sup>,陈 渊<sup>3</sup>,张 丽<sup>4</sup>

(1 成都理工大学,四川成都 610059;2 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;3 西藏天圆矿业资源开发 有限公司,西藏日喀则 857000;4 中国地质调查局成都地质调查中心,四川成都 610081)

摘要 雄村斑岩型铜金矿集区位于西藏冈底斯成矿带,是目前该带上发现的唯一一个与新特提斯洋壳早期 俯冲作用有关的斑岩型铜金矿区,由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号铜金矿体组成。雄村Ⅰ号铜金矿体具有规模大、蚀变强烈、富金银 而贫钼的特点,其蚀变-矿化系统受中-晚侏罗世侵入于雄村组凝灰岩中的多个含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢 岩岩枝的控制,矿体即赋存于玢岩岩枝及其接触带附近的凝灰岩中。通过对雄村Ⅰ号铜金矿体蚀变和矿化特征的 研究可以得出以下几点认识,①Ⅰ号铜金矿体的热液蚀变作用可分为早、晚2期,早期蚀变经历了弱的钾硅酸盐化阶 段和强烈红柱石次生石英岩化阶段,晚期蚀变经历了黄铁绢英岩化阶段和青磐岩化阶段,晚期蚀变叠加于早期蚀变 之上。由斑岩体中心向外,蚀变分带依次可划分为强硅化带→红柱石次生石英岩化带→绢英岩化带→青磐岩化带。 主要赋矿蚀变带为强硅化带和红柱石次生石英岩化带。②Ⅰ号铜金矿体的矿化主要呈浸染状、脉状或网脉状。由 斑岩体中心向外,矿化分带依次为黄铁矿-黄铜矿(磁黄铁矿)→黄铁矿-磁黄铁矿(黄铜矿)→黄铁矿→闪锌矿,主要 含矿脉的分布依次为石英-硫化物脉→石英-红柱石-黑云母(白云母)硫化物脉→黄铁矿脉→多金属硫化物脉,主要 赋矿脉为石英-硫化物脉和石英-红柱石-黑云母(白云母)硫化物脉。③Ⅰ号铜金矿体弱的钾硅酸盐化蚀变和强烈的 红柱石次生石英岩化蚀变暗示成矿流体具有较低的 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>值。在斑岩蚀变系统形成早期,矿床经历了高温阶段, 形成弱的钾硅酸盐化蚀变,之后,斑岩蚀变系统迅速降温,形成大规模的红柱石次生石英岩化蚀变,斑岩蚀变系统的 早期迅速降温可能是由于岩体的上侵导致表层岩石引张而产生断裂破碎,使得大气降水能快速的进入斑岩蚀变系 统而造成的。

关键词 地质学 雄村 斑岩型铜金矿床 蚀变 矿化 红柱石 中图分类号:P618.41;P618.5P 
文献标志码:A

# Alteration and mineralization of No. 1 ore body in Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic ore district, Xietongmen County, Tibet

LANG XingHai<sup>1,3</sup>, TANG JuXing<sup>2</sup>, LI ZhiJun<sup>1</sup>, HUANG Yong<sup>1,3</sup>, CHEN Yuan<sup>3</sup> and ZHANG Li<sup>4</sup>

(1 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Tibet Tianyuan Minerals Exploration Co. Ltd., Xigaze 857000, Tibet, China; 4 Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

#### Abstract

The Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district, located in the Gangdise metallogenic belt, is the only copper-gold metallogenic ore district related to early subduction activity of Neotethys oceanic crust. It is

<sup>\*</sup> 本文为国家科技支撑项目(编号:2006BAB01A01)天圆公司项目、青藏专项(编号:1212010818089)国家基础研究计划"印度-亚洲大陆主碰撞带成矿作用 '973 项目(编号:2002CB412607)资助的成果

第一作者简介 郎兴海,男,1982年生,在读博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业,Email:langxinghai@126.com 收稿日期 2010-03-06;改回日期 2010-04-18。张绮玲编辑。

composed of No. I, No. II and No. III ore bodies. In this paper, the Xiongcun No. I ore body was chosen as the research object. This ore body has the characteristics of large size, strong alteration, poor molybdenite and rich gold. The alteration-mineralization system is controlled by several middle-late Jurassic quartz diorite porphyry with big quartz eyes which intruded into tuff of Xiongcun Formation. The Xiongcun No. ] ore body lies in the quartz diorite porphyry with big quartz eyes and the tuff. Based on a study of its alteration and mineralization, the authors have reached the following conclusions: ① The alteration of the Xiongcun No. I ore body occurred at two stages (early stage and late stage). The early stage included poorly developed potassic alteration and well developed and alusite-silicification, whereas the late stage included phyllic alteration and propylitic alteration, with the late stage superimposed upon the early stage. From the core of the porphyry, the alteration zoning is in order of strong silicification zone  $\rightarrow$  and alusite-silicification zone  $\rightarrow$  phyllic zone  $\rightarrow$  propylitic zone. The main mineralization zone is composed of strong silicification zone and andalusite-silicification zone. (2) Mineralization of the Xiongcun No. I ore body find expression in dissemination-veins or stockworks. From the core of the porphyry, the mineralization zoning is in order of pyrite-chalcopyrite-(pyrrhotite)-pyrite-pyrrhotite-(chalcopyrite)  $\rightarrow$  pyrite  $\rightarrow$  sphalerite, and the mineralization veins zoning is in order of quartz-sulfide vein  $\rightarrow$  quartz-andalusite-biotite  $\pm$  muscovite-sulfide vein $\rightarrow$  pyrite vein $\rightarrow$  polymetallic sulfide vein. The main mineralization veins are quartz-sulfide vein and quartz-andalusite-biotite ± muscovite-sulfide vein? After the formation of the ore deposit, it experienced weak supergenic alteration and formed the oxidized zone and supergene sulfide zone, but the main ore body is located in the hypogene sulfide zone. 3 The presence of poorly-developed potassic alteration and well developed andalusite-silicification alteration implies that the fluids were characterized by relatively low  $K^+/H^-$  ratio and experienced a period of high temperature and formed poorly-developed potassic alteration, and then the fluids entered into a stage of slightly lower temperature and formed well developed andalusite silicification. The lower temperature might have resulted from the involvement of cooler meteoric waters in the alteration system.

Key words: geology, Xiongcun, porphyry copper-gold deposit, alteration, mineralization, andalusite

雄村斑岩型铜金矿集区是近年来在西藏冈底斯 构造带内发现的大型铜金矿集区之—,位于西藏日 喀则地区谢通门县荣玛乡雄村,由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号铜金 矿体组成 3个矿体呈北西向展布 ,Ⅲ号矿体位于Ⅰ 号矿体北西向约 3.4 km 处 ,Ⅲ号矿体位于 Ⅲ号矿体 北西向约 2.1 km 处。雄村 I 号铜金矿体具有规模 大、伴生金含量高、蚀变强烈之特点,属富金斑岩型 铜矿(郎兴海等 ,2010 )。不同学者从不同研究角度 对雄村 [ 号铜金矿体进行过大量的研究 ,其中包括 矿床地质特征及成因(Qin et al., 2005;张丽等, 2007;唐菊兴等,2007;2009a;曲晓明等,2007a; 2007b),成矿流体特征(徐文艺等,2005,2006a)和矿 床元素地球化学及元素空间分带特征(唐菊兴等, 2009a 郎兴海等 ,2010 )等研究 ,这些学者根据自己 的研究对矿床的成因类型提出了不同的认识 ,如被 晚期脉切割的中生代 VHMS 型矿床(Qin et al., 2005)、较为特殊的浅成低温热液型矿床(徐文艺等, 2005) 破碎带蚀变岩型铜金矿床(曲晓明等, 2007a) 斑岩-浅成低温热液型矿床(张丽等,2007 ) 离兴等,2007;2009a) 未发育成熟的斑岩型矿化与 浅成热液型矿化套生的矿床(徐文艺等,2006b) 斑 岩型且叠加斑岩成矿系统晚期呈脉状产出的浅成低 温热液型 Zn-Pb-Cu-Au-Ag 矿化(郎兴海等,2010) 等。这些研究极大地深化了人们对雄村 I 号铜金矿 体的认识,但对其矿化和蚀变特征均未进行深入的 描述和分析,这无疑将影响人们对该矿床的全面认 识。因此,本文将通过详细的岩芯编录、典型剖面的 研究和大量光薄片观察来描述雄村 I 号铜金体的矿 化和蚀变特征,以期能够更全面地认识该矿床。

## 1 矿区地质概况

雄村铜金矿区位于西藏冈底斯成矿带中段南 缘,其南侧紧邻日喀则弧前盆地(图1)。 矿区出露的地层(图1)主要为中-下侏罗统雄村 组(J<sub>1-2</sub>*x*)和全新统崩积物-冲积物<sup>•</sup>(张丽等,2007; 唐菊兴等,2009a)。雄村组分为酸性凝灰岩、安山质 凝灰岩、石英玄武质砂岩、玄武质砂岩夹粉砂岩、粉 砂岩夹泥质岩等岩性段,其中酸性凝灰岩和安山质 凝灰岩是雄村铜矿区的主要赋矿岩石之一。矿区内 发育成矿前、成矿期和成矿后岩浆岩(图2)。



图 1 雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿区地质图(据唐菊兴等●和 Oliver<sup>®</sup>修改)

1—全新统冲积物-崩积物 2—中-下侏罗统雄村组 3—早-中侏罗世角闪石英闪长玢岩 ;4—中-晚侏罗世含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长 玢岩 5—晚侏罗世石英闪长玢岩 5—斜长闪长玢岩 ;7—始新世黑云母花岗闪长岩 8—始新世花岗细晶岩脉 9—逆冲断层 ;10—平移断层 ; 11—性质不明断层 ;12—雄村斑岩型铜金矿集区 [号铜金矿体范围 ;13—钻孔位置 ;14—剖面位置 ;]S—金沙江缝合带 ;BNS—班公湖-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 map of No. I ore body in the Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district

(modified after Tang et al.  $^{\textcircled{0}}$  and Oliver  $^{\textcircled{0}}$  )

1—Holocene alluvium-colluvium; 2—Lower-Middle Jurassic Xiongcun Formation; 3—Lower-Middle Jurassic hornblende quartz diorite porphyry; 4—Middle-Late Jurassic hornblende quartz diorite porphyry with big quartz eyes; 5—Late Jurassic quartz diorite porphyry; 6—Plagioclase diorite porphyry; 7—Eogene biotite granodiorite; 8—Eogene granite aplite dyke; 9—Thrust fault; 10—Strike-slip fault; 11—Unclear fault; 12—Cu-Au ore body boundary; 13—Borehole location; 14—Location of cross section; JS—Jinshajiang suture zone; BNS—Bangonghu-Nujiang suture zone; IYS—Indian River—Yaluzangbo suture zone; MBT—Main boundary thrust fault

● 唐菊兴 ,李志军 ,钟康惠 ,孙传敏 刘文周 叶 江 ,徐仕海 ,郭 科 ,丁 枫 ,郭文铂 ,张廷斌 ,张 丽 ,王志辉 ,茅燕石 ,郭 娜 ,郎兴海 ,凌 娟 张 峰 ,崔晓亮 ,黄厚辉 ,黄 勇 ,王 友 . 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.

② 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.

成矿前岩浆岩主要为角闪石英闪长玢岩,侵入 时间为(173±3) Ma(唐菊兴等 2009b);成矿期岩浆 岩为含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩,侵入 时间为(164.3±1.9) Ma<sup>®</sup>,该岩体是雄村矿区的含 矿斑岩体;成矿后岩浆岩主要为始新世侵位的黑云 母花岗闪长岩、安山岩脉、花岗细晶岩脉和煌斑岩 脉,其中黑云母花岗闪长岩侵位时间为47 Ma(唐菊 兴等 2009b),安山岩脉早于黑云母花岗闪长岩,煌 斑岩脉和花岗细晶岩脉晚于黑云母花岗闪长岩,斜 长闪长玢岩早于安山岩脉,这些后期岩脉侵位的准 确时间还未确定。

矿区断裂构造发育(图1),主要呈北西向、北西 西向或北北西向展布,其中F1 主断层展布于矿区南 部,F2 主断层展布于矿区中部 2 个断层均具有多期 次活动的特点,为成矿后断层,呈 265~280°走向,倾 向北,倾角 40~75°不等,表现出先压后张和先韧性 后脆性的特征,沿两断层普遍分布有断层角砾岩和 构造蚀变岩,断裂破碎带内及上盘附近矿石破碎;次 级断层大多具有陡倾特点,呈北西或北北西走向,倾 向北东或东,均为成矿后断层,切穿矿体和 F1、F2 主 断层。

# 2 蚀变特征

本文将雄村 1 号矿体的热液活动按时间和空间 划分出 2 个蚀变期(早期、晚期)来描述其蚀变矿物 组合和空间分带,各蚀变期由弥散状蚀变及同期蚀 变过程中产生的细脉组成。早期蚀变期形成弱的钾 硅酸盐化和强烈的红柱石次生石英岩化两种蚀变, 该期相当于斑岩铜矿蚀变系统的高温气液期;晚期 蚀变期形成绢英岩化和青磐岩化两种蚀变带,该期 相当于斑岩铜矿蚀变系统的热液期,晚期蚀变叠加 于早期蚀变之上。由于雄村 1 号矿体同时受多个含 眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩岩枝控制(图 2),各斑岩岩枝形成独立但相似的蚀变系统(图 3、图 4),而斑岩岩枝蚀变系统间的相互叠加作用,最终形 成雄村 1 号矿体复杂的蚀变空间分带(图 5)。

2.1 早期蚀变(图3)

钾硅酸盐化蚀变:该蚀变未形成独立的蚀变分 带,主要呈无规律状分布于含眼球状石英斑晶的角



图 2 雄村矿区 ↑ 号矿体的 ↑ - ↑ 地质剖面图

1—黑云母花岗闪长岩;2—含眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩;3—角闪石英闪长玢岩;4—凝灰岩;5—断层;6—钻孔及编号

Fig. 2 I - I 'geological section in the Xiongcun No. I ore body

1-Biotite granodiorite ; 2-Hornblende quartz diorite with big quartz eyes ; 3-Hornblende diorite ; 4-Tuff ; 5-Fault ;

6-Borehole and its serial number

① Tafti R. 2006. Preliminary geochronology report for the Xietongmen deposit area, Tibet, China. Private Report to Continental Minerals Corp. 内部报告.





Fig. 4 Alteration distribution of late stage in the Xiongcun No. I ore body 1—Strong silicification zone; 2—Quartz-sericite alteration zone; 3—Propylitization zone

闪石英闪长玢岩的中,因而在蚀变分带图中未能标 出其分布位置。蚀变矿物组合主要为钾长石-黑云 母-石英-磁铁矿组合(图 6a),有时见钾长石-石英± 磁铁矿组合。在镜下,有时见到黑云母被绿泥石交 代,钾长石被红柱石或白云母(绢云母)交代,显示钾 硅酸盐化蚀变是雄村斑岩蚀变系统的最早期蚀变。 与该蚀变同期的脉为少量的磁铁矿-硫化物脉,脉的 主要矿物组合为磁铁矿+黑云母+(少量石英)+黄



图 5 雄村矿区 I 号矿体的晚期蚀变叠加于早期蚀变后的蚀变分布图 1—强硅化带;2—红柱石次生石英岩化带;3—石英绢云母化带;4—青磐岩化带;5—Cu(0.15%) 等值线;6—Cu(0.24%) 等值线 Fig. 5 Alteration distribution of late stage superimposed upon early stage in the Xiongcun No. I ore body 1—Intense silicification zone;2—Andalusite-silicification zone;3—Quartz-sericite alteration zone;4—Propylitization zone; 5—Cu(0.15%) contour line;6—Cu(0.24%) contour line

铁矿 ± 黄铜矿,其只分布于钾硅酸盐化蚀变斑岩体 及其接触带的凝灰岩中。

红柱石次生石英岩化蚀变(图 6b、6c;图 7a、7b、 7c):该蚀变是雄村 [号矿体主要的蚀变类型,分布 范围很广,发育于斑岩体及其接触带的凝灰岩中。 蚀变矿物主要为红柱石和石英,同时伴生有不定量 的白云母(绢云母) 或黑云母或两者共生,组成石英 +红柱石 ± 白云母(绢云母) ± 黑云母的蚀变矿物组 合。由于红柱石的存在,使红柱石次生石英岩化蚀 变岩常呈浅粉红色,在野外常把其误认为是钾长石 化蚀变岩 ,但对于雄村 ] 号矿体 ,钾长石化蚀变发育 的范围极其有限 因而呈浅粉红色的蚀变岩几乎全 部为红柱石次生石英岩化蚀变。与该蚀变同期的呈 脉状或网脉状的石英+红柱石+黑云母±白云母+ 硫化物脉,其主要矿物组合为石英+红柱石+黑云 母+白云母(绢云母)+黄铁矿+黄铜矿±磁黄铁 矿,该脉是雄村 | 号矿体的主要含矿脉之一,但在红 柱石次生石英岩化带的边缘 其含矿性较弱。

2.2 晚期蚀变(图4)

绢英岩化蚀变(图 6d、6e 图 7d):该蚀变叠加于 早期蚀变之上,并在红柱石次生石英岩化蚀变带外 围形成独立蚀变带,蚀变矿物组合主要为石英和绢 云母。叠加于红柱石次生石英岩化带的绢英岩化蚀

变 在薄片中常见石英和绢云母交代红柱石。位于 红柱石次生石英岩化蚀变带外围的绢英岩化带,在 薄片中未见红柱石(包括交代残余的红柱石),仅见 石英、绢云母(含少量粗粒白云母和极少量黑云母) 和少量具原岩特征的交代残余长石(石英和绢云母 交代) 这说明红柱石次生石英岩化蚀变带外围的绢 英岩化带可能是石英和绢云母直接交代原岩( 凝灰 岩 形成 而不是通过交代早期的红柱石次生石英岩 化蚀变而形成的。与该蚀变同期的脉为呈脉状或网 脉状强烈发育的石英+硫化物脉、局部发育的黄铜 矿+黄铁矿±磁黄铁矿脉和中等发育的黄铁矿脉, 其中石英-硫化物脉的主要矿物组合为石英 + 黄铁 矿+黄铜矿±磁黄铁矿,在脉壁常见石英和绢云母 交代早期形成的红柱石及绿泥石交代早期形成的黑 云母 在石英+硫化物脉强烈发育的位置 常见被石 英+硫化物脉包围的早期形成的红柱石次生石英岩 化岩块,该脉与前述的石英+红柱石+黑云母±白 云母+硫化物脉构成了雄村 | 号矿体的主要含矿 脉 黄铜矿 + 黄铁矿 ± 磁黄铁矿脉的主要矿物组合 为黄铁矿 + 黄铜矿 ± 磁黄铁矿 ± 少量石英 ;黄铁矿 脉的主要矿物组合为黄铁矿土少量石英。三种脉的 时间和空间分布有所不同,石英-硫化物脉形成于绢 英岩化的早期阶段 ,主要发育于斑岩体及其接触带



#### 图 6 雄村矿区 I 号矿体中主要蚀变类型的手标本照片

a. 钾硅酸盐化蚀变(黑云母-磁铁矿); b. 红柱石次生石英岩化蚀变,同期的石英-红柱石-黑云母±白云母-硫化物脉及后期的石英硫化物脉; c. 红柱石次生石英岩化蚀变,同期的石英-红柱石-黑云母±白云母-硫化物脉; d. 强硅化蚀变(石英-硫化物脉强烈穿插形成); e. 绢英 岩化蚀变; f. 青磐岩化蚀变岩(绿帘石-方解石-少量绿泥石),交代强硅化蚀变岩。Mt一磁铁矿; Bi一黑云母; Qz一石英; Cpy一黄铜矿; Py一黄铁矿; As—红柱石; Ser—绢云母; Ep—绿帘石; Cal—方解石

#### Fig. 6 Photos of hand specimens of main alteration types in the Xiongcun No. I ore body

a. Potassic alteration (biotite-magnetite); b. Andalusite-silicification; quartz-andalusite-biotite ± muscovite-sulfide veins; c. Andalusite-silicification, quartz-andalusite-biotite ± muscovite-sulfide veins; d. Strong silicification (intensely developed quartz-sulfide veins); e. Quartz-sericite alteration; f. Propylitization epidote-calcite-minor chlorite), replacing strong silicification rock. Mt—Magnetite; Bi—Biotite; Qz—Quartz; Cpy—Chalcopyrite; Py—Pyrite; As—Andalusite; Ser—Sericite; Ep—Epidote; Cal—Calcite

address opy challepymes ry rynes no maddadse, oer oerene, op r

附近的红柱石次生石英岩化凝灰岩中,在斑岩体及 其接触带附近的红柱石次生石英岩化凝灰岩中,石 英-硫化物脉强烈发育构成雄村 I 号矿体中心的强 硅化带。从接触带向外,石英-硫化物脉的发育强度 减弱;黄铜矿-黄铁矿±磁黄铁矿脉形成于绢英岩化 蚀变的中期,发育于绢英岩化蚀变叠加于早期红柱 石次生石英岩化蚀变的部位,该脉含矿高,但不太发 育;黄铁矿脉主要形成于绢英岩化蚀变的中-晚期, 主要发育于红柱石次生石英岩化蚀变带外围的绢英 岩化蚀变带,少量发育于绢英岩化蚀变叠加于早期 红柱石次生石英岩化蚀变的部位,该脉含矿性差,发 育强度中等。

青磐岩化蚀变(图 6f): 该蚀变是雄村斑岩蚀变 系统的最晚期蚀变,蚀变矿物组合为绿帘石+方解 石+石英±绿泥石±绢云母,分布于绢英岩化带外 侧的构造裂隙中,未形成弥散状的面型蚀变。与该 蚀变同期的脉有多金属硫化物脉、石英-碳酸盐脉和 青磐岩化脉,这些脉的发育强度均较弱,其中多金属 硫化物脉的主要矿物组成为闪锌矿、黄铁矿、少量方 铅矿或黄铜矿,石英-碳酸盐脉由石英、方解石组成, 青磐岩化脉主要由绿帘石、方解石、石英、少量绿泥 石、少量黄铁矿组成。值得注意的是,图4、图5中的 的青磐岩化带只是该种蚀变较为发育的位置,在其 外侧的一些构造裂隙中也发育有该种蚀变及同期的 多金属硫化物脉、石英-碳酸盐脉和青磐岩化脉。

单个斑岩岩枝的晚期蚀变叠加于早期蚀变之 上,形成单个斑岩岩枝的蚀变系统,斑岩岩枝蚀变系 统间的相互叠加,形成了雄村 [号矿体复杂的蚀变



#### 图 7 雄村矿区 I 号矿体中主要蚀变类型的显微照片

a. 红柱石次生石英岩化蚀变,中细粒不等粒结构,主要由红柱石和石英组成,红柱石(突起明显,无色)呈不规则柱状或粒状、局部富集呈半定向带状分布,含稀疏浸染状矿化(黑色)(ZK5088,139.3 m, 平行偏光); b. 红柱石次生石英岩化蚀变,局部红柱石富集,粒度变粗,并发育较富呈填间状分布金属硫化物(黑色),沿金属硫化物及红柱石的接触带发育强烈的云母化(黑云母及白云母,黑云母呈褐灰色)(ZK5056,258.7 m, 平行偏光); c. 红柱石次生石英岩化蚀变,局部红柱石富集(突起明显,解理发育),发育较富呈填间状分布金属硫化物(黑色),沿金属硫化物及红柱石的接触带发育强烈的白云母化(细粒状)(ZK5068,60.5 m, 平行偏光); d. 强硅化蚀变(石英硫化物脉),主要由石英组成,浸染状金属硫化物(黑色)沿不太规则的的交叉裂隙分布,并含较多的绿泥石(浅绿色),强硅化蚀变岩中局部包含围岩包体和红柱石包体(已蚀变)(ZK5019,275.8 m, 平行偏光)。Qz一石英; As—红柱石; Mu—白云母; Bi—黑云母; Chl—绿泥石

Fig. 7 Microphotos of main mineralized alteration types in the Xiongen No. I ore body

a. Andalusite-silicification, composed of quartz and andalusite (obvious relief, with no color), minor metallic sulfide (black), ZK5088 (139.3 m), P: b. Andalusite-silicification, metallic sulfide distributed in intergranular parts of macrograined andalusite, biotite and muscovite developed in the contact zone between metallic sulfide and andalusite, ZK5056(258.7 m), P: c. Andalusite-silicification, metallic sulfide distributed in intergranular parts of macrograined andalusite, muscovite developed in the contact zone of metallic sulfide and andalusite, muscovite developed in the contact zone of metallic sulfide and andalusite, ZK5068(60.5 m), P: d. Strong silicification (intensely developed quartz-sulfide veins), composed of quartz, disseminated metallic sulfide distributed in the cranny, ZK5019(275.8 m), P. Qz—Quartz; As—Andalusite; Mu—Muscovite; Bi—Biotite; Chl—Chlorite

分带(图 5)。同时,对于单个斑岩岩枝来说,由斑岩体中心向外,蚀变分带依次可划分为强硅化带→红柱石次生石英岩化带→绢英岩化带→青磐岩化带。

# 3 矿化特征

斑岩铜矿形成后,一般都要经历或强或弱的次 生(表生)作用,次生富集作用常常使斑岩铜矿石的 经济价值大大提高(王之田等,1994)。因此,斑岩铜 矿床的矿化特征实际上包括了两个方面:一方面是 斑岩铜矿形成时的矿化特征;另一方面是斑岩铜矿 形成之后,经历次生(表生)作用后所呈现的特征。 以下也将从这两个方面论述雄村 I 号矿体的矿化特 征。

3.1 原生矿化特征

斑岩型矿床的矿化作用往往是与蚀变作用同时

发生的 ,本文将根据雄村 1 号矿体的蚀变分带情况 来论述该矿床的原生矿化特征。

强硅化带:矿化呈脉状、网脉状,常见的金属矿 物组合为黄铁矿+黄铜矿±磁黄铁矿,局部见少量 磁铁矿,常见的非金属矿物为石英及少量的绿泥石、 绢云母、红柱石、绿帘石和方解石等。以石英-硫化 物脉为主,也见少量的石英-红柱石-黑云母±白云母 -硫化物脉、黄铁矿脉、黄铜矿-黄铁矿±磁黄铁矿脉, 以及极少量的磁铁矿-硫化物脉。该带为雄村 1 号 矿体的主要赋矿(Cu-Au-Ag)蚀变带之一,黄铜矿是 主要的赋铜矿物,也是金、银的主要载体。

红柱石次生石英岩化带:矿化呈浸染状、脉状, 常见金属矿物组合为黄铁矿+磁黄铁矿±黄铜矿, 局部见少量磁铁矿和辉钼矿,常见非金属矿物为石 英、红柱石、白云母、黑云母、绢云母及少量的石榴子 石、透辉石、电气石、绿泥石、绿帘石和方解石等;脉 主要以石英+红柱石+黑云母±白云母+硫化物脉 为主,石英-硫化物脉、黄铁矿脉次之,少量黄铜矿+ 黄铁矿±磁黄铁矿脉,磁铁矿硫化物脉极少量。该 带为雄村 I 号矿体的主要赋矿(Cu-Au-Ag) 浊变带之 一,黄铜矿是主要赋铜矿物,金、银也主要赋存于黄 铜矿中。

绢英岩化带:矿化呈浸染状、脉状,常见的金属 矿物组合为黄铁矿±极少量黄铜矿±磁黄铁矿(微 量),常见的非金属矿物为石英、绢云母及少量的粘 土矿物和绿泥石等;脉为黄铁矿脉。该带含矿性弱。

青磐岩化带:矿化主要呈脉状;常见矿物组合 为闪锌矿+黄铁矿(少量)+方铅矿(微量)±黄铜矿 (少量),主要非金属矿物为绿帘石、方解石和少量的 绿泥石、绢云母和石英等,脉为多金属硫化物脉。该 带为雄村 I 号矿体主要的富锌(含少量 Au-Ag-Cu-Pb)蚀变带,但发育强度较弱。

从上述矿化特征可以看出,雄村 I 号矿体的矿 化主要呈浸染-细脉或网脉状;从斑岩体中心向外, 矿化分带依次可划分为黄铁矿、黄铜矿、(磁黄铁矿) →黄铁矿、磁黄铁矿、(黄铜矿)→黄铁矿→闪锌矿, 主要脉体的分布可依次划分为石英-硫化物脉→石 英-红柱石-黑云母±白云母-硫化物脉→黄铁矿脉→ 多金属硫化物脉;主要赋矿蚀变带为强硅化带和红 柱石次生石英岩化带,主要含矿脉为石英-硫化物脉 和石英-红柱石-黑云母(±白云母)硫化物脉。

3.2 次生(表生)作用形成的矿化特征

根据雄村 [ 号矿体次生( 表生 )作用发育的类型

以及强度和范围,将雄村 I 号矿体的矿化分带划分 为氧化带、次生硫化物富集带和原生硫化物带。

氧化带:位于矿体上部,平均厚度 15 m。其占 铜金属量的 0.33%,占金金属量的 0.48%,占银金 属量的 0.58%。常见的金属矿物为孔雀石、蓝铜矿、 赤铜矿、褐铁矿、少量的硫化物残余和极少量的自然 金,常见的非金属矿物高岭石、绢云母、水铝英石、蛋 白石。Cu、Au、Ag 的平均品位(质量分数,下同)分别 为 0.21%、0.42×10<sup>-6</sup>、3.28×10<sup>-6</sup>。

次生硫化物富集带:位于氧化带之下,平均厚 度 44 m。其占铜金属量的 13.53%,占金金属量的 5.8%,占银金属量的 7.7%。常见金属矿物为辉铜 矿、铜蓝等次生硫化物及少量蓝辉铜矿、黄铁矿和黄 铜矿,常见非金属矿物为绿泥石、绢云母、石英、黏土 矿物。Cu、Au、Ag 的平均品位分别为 0.56%、0.33 ×10<sup>-6</sup>、2.8×10<sup>-6</sup>。

原生硫化物带:位于矿体下部,平均厚度 216 m。其占铜金属量的 86.14%,占金金属量的 93.72%,占银金属量的 91.72%。常见金属矿物为 黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿(少量)、闪锌矿、 方铅矿(少量)、辉钼矿(微量)和毒砂(微量),常见非 金属矿物为石英、红柱石、长石、绢云母、黑云母、或 石榴子石、透辉石、绿泥(帘)石、电气石。Cu、Au、Ag 的平均品位分别为 0.4%、0.59×10<sup>-6</sup>、3.8×10<sup>-6</sup>。

# 4 讨论

斑岩铜矿的形成和蚀变都是成矿流体作用的产物,因此,可以根据矿床的蚀变和矿化特征探讨矿床的成因。雄村1号矿体两期热液活动所形成的蚀变和矿化产物具有一定的差别,以下讨论两期蚀变与成矿作用之间的关系。

4.1 早期蚀变

该期存在弱的钾硅酸盐化蚀变(发育于含眼球 状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩中)和强烈的红柱 石次生石英岩化蚀变(发育于斑岩体及其接触带的 凝灰岩中)。通过详细的薄片观察,在红柱石次生石 英岩化带存在具原岩残余特征的碱性长石,其常被 细粒石英穿孔状交代,蚀变强烈处见红柱石或白云 母(绢云母)或黑云母交代,而具有热液蚀变特征的 钾长石很少见,仅出现在含眼球状石英斑晶的角闪 石英闪长玢岩的局部,这说明雄村 I 号矿体的斑岩 蚀变系统在早期存在弱的钾硅酸盐化蚀变,而后迅 速转为大规模的红柱石次生石英岩化蚀变。Burnham(1979)研究了1×10<sup>8</sup> Pa 下氯化物水溶液与花岗 闪长岩的平衡反应,得到了与斑岩铜矿蚀变分带相 似的矿物分区(图8),从图8可以看出,雄村 I 号矿 体弱的钾硅酸盐化蚀变和强烈的红柱石次生石英岩 化蚀变的存在暗示着成矿流体具有较低的 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> 值,在斑岩蚀变系统形成早期,矿床经历了高温阶 段,成矿流体可能位于图8的A区域,形成了弱的钾 硅酸盐化蚀变;而后,斑岩蚀变系统迅速降温,成矿 流体沿图8的红柱石-白云母的平衡线(图8中的 B 线)演化,形成大规模的红柱石次生石英岩化蚀变,



### 图 8 在总压力为 1×10<sup>8</sup> Pa 和石英存在条件下, K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 体系中的矿物稳定关系

(底图据 Burnham ,1979) AS—红柱石;Bi—黑云母;Hb—角闪石;Kf—钾长石;L—硅酸盐 熔融体;Mt—磁铁矿;Mu—白云母;Pl—斜长石;Qz—石英; Py—叶蜡石;V—水流体相

Fig. 8 Stability relationships in the system  $K_2O-Al_2O_3$ -

 $\mathrm{SiO}_2\text{-}\mathrm{H}_2\mathrm{O}$  at 1 kb pressure , with solid quartz present

( base map after Burnham ,1979 )

As—Andalusite ; Bi—Biotite ; Hb—Hornblende ; Kf—K-feldspar ;

L—Melt ; Mt—Magnetite ; Mu—Muscovite ; P1—Pagioclase ; Qz— Quartz ; Py—Pyrophyllite ; V—Aqueous fluid phase

同时伴有白云母(绢云母)和(或)黑云母化。 [号矿 体斑岩蚀变系统的迅速降温可能是由于斑岩体的上 侵导致表层岩石引张而产生断裂破碎 使得大气降 水能快速进入斑岩蚀变系统而造成的 雄村 | 号矿 体的氢、氧同位组成也反映出成矿流体以大气降水 为主(徐文艺等 2006a),而且体系存在一个降温、降 压过程,即均一温度从 382℃(部分高于 382℃)降到 136℃、均一压力从 45.92×10<sup>5</sup> Pa 降到 2.35×10<sup>5</sup> Pa(徐文艺等,2005;2006a)。在红柱石次生石英岩 化蚀变过程中 热液流体沿图 8 的 B 线演化,一方面 成矿流体的 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>值增大、pH 升高;另一方面交代 原岩产生 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>等离子,以及形成 石英-红柱石-白云母平衡后剩余的 Al<sup>3+</sup>、K<sup>+</sup> 和 Si<sup>4+</sup> 将一同进入热液中。随着交代作用的进行,大 气降水和循环地下水不断进入成矿体系 ,带来了大 量的有机气体 ,大量有机气体还原 SO<sub>2</sub> 生成 H<sub>2</sub>S 或 HS<sup>-</sup> 促使铜的氯络合物分解(徐文艺等 2006a)造 成常与白云母和黑云母伴生的浸染状金属硫化物以 及石英-红柱石-黑云母( ± 白云母 )-硫化物脉的形 成。红柱石作为斑岩铜矿中的热液产物 ,在中国未 见报道 但在国外的一些斑岩铜矿中却有出现 如美 国的 Butte 矿床 (Brimhall 1977 ) 智利的 EI Salvador 矿床 Gustafson et al. 1975 ) 印尼的 North Sulawesi 矿区(Lowder et al., 1978) 美国的 Elkhorn 矿区 (Carl et al. ,1984)等。

#### 4.2 晚期蚀变

在斑岩体及其接触带附近的红柱石次生石英岩 化凝灰岩中发育强烈的石英-硫化物脉,标志着雄村 1号矿体的斑岩蚀变系统进入了蚀变晚期。徐文艺 等(2005)研究表明,雄村 [号矿体的黄铁绢英岩化 阶段存在高于 382℃的均一温度 结合这一蚀变阶段 形成的矿物组合,说明成矿热液在早期应该是中-高 温、富硅的酸性流体,其强烈交代早期形成的蚀变岩 及残留原岩,在交代过程中,一方面消耗了大量的 H<sup>+</sup>离子, 使流体的 pH 升高; 另一方面中-高温强酸 性淋漓的结果,除了形成强硅化外,其他离子如  $Al^{3+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 等则转入热液流 体中。随着交代作用的进行,大气降水和循环地下 水不断进入成矿体系促使铜的氯络合物分解(徐文 艺等 2006a),造成含金属硫化物及少量绿泥石、碳 酸盐矿物、绿帘石和绢云母的石英-硫化物脉大量形 成 即形成雄村 ⊺ 号矿体主要的工业矿带——强硅 化带。强硅化带与红柱石次生石英岩化带由于物理 化学性质和被交代原岩的性质存在明显的差异,导 致蚀变矿物组合及含矿性具有一定的差异。

石英-硫化物脉的形成消耗了大量的 Si 和 H<sup>+</sup>, 而 K<sup>+</sup> 进入到溶液中,使得残留溶液的 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> 值增 大。具有较高 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>值的残留热液继续交代强硅 化带外侧的红柱石次生石英岩化蚀变岩 使红柱石 和原岩中的长石成为绢云母和石英。随着交代作用 的进行 K 逐步被消耗,热液的 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> 值也逐步降 低,在雄村 | 号矿体中局部出现的少量高岭石化,可 能也是该阶段的产物。当残余热液(具较低的 K+/ H<sup>+</sup>值)运移到红柱石次生石英岩化带的外围,其交 代原岩中的长石(据薄片中残留长石特征推测,大部 分长石为碱性长石 )形成红柱石次生石英岩化带外 围的石英绢云母化带。由于大量的铜在石英-硫化 物脉(强硅化带) 中富集 因而 石英绢云母化蚀变未 形成具有工业意义的铜矿化,仅在蚀变早期形成了 少量富铜的黄铜矿-黄铁矿±磁黄铁矿脉,大量产出 的金属矿物为呈脉状 黄铁矿脉 和稀疏浸染状的黄 铁矿。

晚期蚀变期晚阶段,热液淋漓出的 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>汇聚到残留的晚期热液中,交代围岩形 成雄村 [ 号矿体蚀变系统最外围的青磐岩化蚀变 , 并形成了呈脉状产出的闪锌矿(少量),黄铁矿(少) 量 ), 方铅矿(微量), 黄铜矿(少量))矿化, 根据青磐岩 化蚀变带的矿物组合(绿帘石-方解石-石英-绿泥石 ±绢云母),形成该带的成矿流体应该是天水成分占 优势的低温、弱碱性的流体(芮宗瑶等,1984),徐文 艺等(2005;2006a;2006b)的研究也表明该阶段成矿 流体温度较低 229~121℃。 该期蚀变主要分布于 构造裂隙中 ,这可能是构造裂隙为晚期热液的运移 提供了通道 ,使得晚期热液主要充填于裂隙中或交 代裂隙中的破碎岩块形成青磐岩化蚀变 而未出现 典型斑岩铜矿床的弥散状青磐岩化蚀变 同时 较为 发育的构造裂隙使得晚期热液能够运移到离矿床中 心较远的位置 因而 在绢英岩化带外侧较远处也能 见到产于构造裂隙中的青磐岩化蚀变及同期的脉。

# 5 结 论

通过对雄村 I 号矿体的蚀变与矿化特征的研 究,可以得出以下几点基本认识:

(1) Ⅰ号矿体的蚀变-矿化系统受控于中-晚侏 罗世侵入雄村组凝灰岩中的多个含眼球状石英斑晶 的角闪石英闪长玢岩岩枝,矿体即赋存于玢岩岩枝 及其接触带附近的凝灰岩中。

(2) I号矿体的热液蚀变作用可分为早、晚2 期。早期蚀变经历了弱的钾硅酸盐化阶段和强烈的 红柱石次生石英岩化阶段,晚期蚀变经历了绢英岩 化阶段和青磐岩化阶段,晚期叠加于早期蚀变之上。 由斑岩体中心向外,蚀变分带依次可划分为强硅化 带→红柱石次生石英岩化带→绢英岩化带→青磐岩 化带。主要赋矿蚀变带为强硅化带和红柱石次生石 英岩化带。

(3) I号矿体的矿化主要呈浸染状、脉状或网脉状。由斑岩体中心向外,矿化分带依次为黄铁矿、 黄铜矿、(磁黄铁矿)→黄铁矿、磁黄铁矿、(黄铜矿) →黄铁矿→闪锌矿,主要含矿脉可依次划分为石英-硫化物脉→石英-红柱石-黑云母(白云母)-硫化物脉 →黄铁矿脉→多金属硫化物脉,主要赋矿脉为石英-硫化物脉和石英,红柱石-黑云母(白云母)-硫化物 脉。I号矿体形成之后,经历了较弱的表生(次生) 作用,形成矿体上部的氧化带和次生硫化物富集带, 但主要的工业矿体是原生硫化矿。

(4)雄村 I 号矿体弱的钾硅酸盐化蚀变和强烈 的红柱石次生石英岩化蚀变的存在,暗示着成矿流 体具有较低的 K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>值。在斑岩蚀变系统形成早 期,矿床经历了高温阶段,形成弱的钾硅酸盐化蚀 变,而后,斑岩蚀变系统迅速降温,形成大规模的红 柱石次生石英岩化蚀变。雄村 I 号矿体斑岩蚀变系 统的早期迅速降温可能是由于岩体的上侵导致表层 岩石引张而产生断裂破碎,使得大气降水能快速进 入斑岩蚀变系统而造成的。

志 谢 本文完成得益于多吉院士、黄卫教授 级高级工程师、粟登奎高级工程师的指导和帮助,感 谢西藏天圆矿业资源开发有限公司在野外调查期间 提供的各种帮助,在此一并表示谢忱!

#### References

- Brimhall G H. 1977. Early fracture-controlled disseminated mineralization at Butte, Montana J. Econ. Geol. ,72 37-59.
- Burnham C W. 1979. Magmas and hydrothermal fluids A ]. In : Barnes H L , ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits M]. New York : Wiley. 71-136.
- Carl I S and William W A. 1984. Hydrothermal andalusite and corundum in the Elkhorn district , Montana J ]. Econ. Geol. ,79 573-579.

- Gustafson L B and Hunt J P. 1975. The porphyry copper deposit at EI Salvador , Child J ]. Econ. Geol. ,70 857-912.
- Lang X H, Chen Y C, Tang J X, Li Z J, Deng Q, Huang Y, Chen Y and Zhang L. 2010. A discussion on genesis of Xiongcun 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 ).
- Lowder G G and Dow J A S. 1978. Geology and exploration of porphyry copper deposits in North Sulawesi , Indonesia J J Econ. Geol. 73: 628-644.
- Qin K ,Li G ,Li J ,Ding K and Xie Y. 2005. The Xiongcun Cu-Zn-Au deposit in the western segment of the Gangdese , Tibet : A Mesozoic VHMS-type deposit cut by late veins A ]. In : Mao J and Bierlein F P , eds. Mineral deposit research : meeting the globe challeng C ]. Springer. 2 :1255-1258.
- Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007a. Collation of age of ore-hosting volcanics in xiongcun superlarge Cu-Au deposit on basis of three zircon U-Pb SHRIMP age. J J. Mineral Deposits , 26(5):513-518( in Chinese with English abstract ).
- Qu X M, Xin H B and Xu W Y. 2007b. Petrogenesis of the ore-hosting volcanic rocks and their contribution to mineralization in Xiongcun superlarge Cu-Au deposit, Tibet[J]. Mineral Deposits, 81(7): 964-971(in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Huang C K and Qi G M, et al. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits in China M]. Beijing : Geol. Pub. House. 119-253(in Chinese with English abstract).
- Tang J X , Li Z J , Zhang L , Huang Y , Deng Q and Lang X H. 2007. Geological characteristic of the Xiongcun type porphyry-epithermal copper-gold deposit J J. Acta Mineralogica Sinica , Z1:127-128( in Chinese with English abstract ).
- Tang J X , Huang Y ,Li Z J ,Deng Q , Lang X H , Chen Y and Zhang L. 2009a. Element geochemistry character of Xiongcun Cu-Au deposit in Xietongmen county , Tibe[ J ]. Mineral Deposits , 28(1):15-28 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X , Zhang L , Huang Y , Wang C H , Li Z J , Deng Q , Lang X H and Wang Y. 2009b. Period of time for the formation of main geologic bodys in Xiongcun copper-gold deposit ,Xietongmen County , Tibet : Evidence from <sup>40</sup> Ar/<sup>39</sup> Ar ages[ J ]. Mineral Deposits , 28 (6):759-769( in Chinese with English abstract ).
- Wang Z T , et al. 1994. Geology and ore prospecting for large-scale copper deposit M ]. Beijing : Metallurgy Industry Press. 28-2% in Chinese with English abstract ).
- Xu W Y , Qu X M , Hou Z Q , Chen W S , Yang Z S and Cui Y H. 2005. Fluid inclusion studies of the Xiongcun copper-gold deposit in central Gangdese , Tibet J ]. Acta Petrologica et Mineralogica , 24 (4):301-310( in Chinese with English abstract ).
- Xu 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 Xiongcun

copper-gold deposit in central Gangdese, Tibet[ J ]. Mineral Deposits, 25(3):243-251( in Chinese with English abstract ).

- Xu 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 Xiongcun copper-gold deposit in Tibet : Characteristics, genesis, and geodynamic application J. Acta Geologica Sinica, 80(9):1392-1406( 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 Xiongcun 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

- 郎兴海 陈毓川,唐菊兴,李志军,邓 起,黄 勇,陈 渊,张 丽. 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, 1] 地质论评,56(3):384-402.
- 曲晓明,辛洪波,徐文艺. 2007a. 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,
- 曲晓明,辛洪波,徐文艺. 2007b. 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) 965-971.
- 唐菊兴,李志军,张 丽,黄 勇,邓 起,郎兴海.2007. 雄村式斑岩 型-浅成低温热液型铜金矿地质特征[J]. 矿物学报,Z1:127-128.
- 唐菊兴,黄 勇,李志军,邓 起,郎兴海,陈 渊,张 丽. 2009a.西 藏谢通门县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 涨 丽,黄 勇,王成辉,李志军,邓 起,郎兴海,王 友. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的<sup>40</sup> Ar<sup>/39</sup> Ar 年龄 及其地质意义[J].矿床地质,28(6).759-769.
- 王之田,等. 1994. 大型铜矿地质与找矿[M]. 北京 冶金工业出版 社. 28-29.
- 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)244-251.
- 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 背影[J]. 地质学报 80(9):1393-1406.
- 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.