编号:0258-7106(2011)02-0305-13

# 西藏甲玛铜多金属矿床斑铜矿特征及其成因意义。

# 王 焕<sup>1</sup>,王立强<sup>1</sup>,应立娟<sup>1</sup>,郑文宝<sup>2</sup>

(1中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;2成都理工大学地球科学学院,四川成都 610059)

摘 要 甲玛矿床是中国国内少见的以斑铜矿为主要含铜矿物的产于斑岩成矿系统内的铜多金属矿床。斑铜 矿是该矿床内普遍存在的重要铜矿物之一 广泛分布于矽卡岩型矿石、(矽卡岩化)大理岩型矿石中,有少量产于角 岩型矿石中。在硅灰石矽卡岩型矿石内,斑铜矿分布最广,含量也最高,部分矿段中斑铜矿的含量高达,75%以上,并 与硅灰石呈共生或伴生关系。斑铜矿矿石以细(网)脉状、浸染状、块状构造为主,斑铜矿与黄铜矿普遍构成固溶体 分离结构。在不同类型矿石中,斑铜矿具有不同的颜色,角岩中的斑铜矿以蓝色为主,砂卡岩中以锖紫色、棕红色为 主,大理岩中以紫红色为主。研究表明,斑铜矿颜色的多样性主要是由 Fe 含量、形成温度及固溶体出溶的黄铜矿的 含量多少造成的。斑铜矿固溶体分离结构及矿床中硫铋铜矿形成条件的研究表明,甲玛矿床中的斑铜矿多形成于 中-高温(225~450℃)阶段,少数形成于中温(175~225℃)阶段。金属硫化物硫同位素组成研究表明,该矿床内的 硫主要为岩浆来源。斑铜矿矿物学研究成果表明,甲玛矿床的形成与中新世岩浆活动有关,是典型的斑岩型-矽卡岩 型铜多金属矿床。

关键词 地质学 斑铜矿 岩浆作用 :甲玛铜多金属矿床 :西藏中图分类号 : P618.41文献标志码 :A

# Features and genesis of bornite in Jiama copper-polymetallic deposit of Tibet

WANG Huan<sup>1</sup>, WANG LiQiang<sup>1</sup>, YING LiJuan<sup>1</sup> and ZHENG WenBao<sup>2</sup>

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059,

Sichuan, China)

## Abstract

As one of the most important copper minerals, bornite extensively occurs in the Jiama Cu-polymetallic deposit. Being rare in China, bornite serves as the main copper-bearing mineral in the porphyry mineralization system. Bornite is widely distributed in skarn-type ores and skarnized marble-type ores in this ore deposit, with a small amount of bornite existent in the hornfels-type ore bodies. Bornite most widely occurs in the wollastonite skarn-type ores, characterized by the highest content, with the highest content of bornite in some ore blocks being up to 75%. Bornite has a accompanying or paragenetic relationship with wollastoniue. Bornite ores mainly show fine veinlike (stock veinlet), dissemination and massive structures. Bornite and chalcopyrite generally constitute a detachable portion of solid solution. Bornite ores of different colors occur in various ore types. In hornfels it mainly shows blue color, while tarnish-purple and brownish-red colors are the main colors in skarn, and purple color is commonly seen in marbles. Studies show that the color diversity of bornite results from Fe con-

 <sup>\*</sup> 本文得到国土资源部公益性行业科研专项经费(200911007-02),中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K0911),国家 973
 项目(编号:2011CB403103),青藏专项(1212010818089),中金集团重点勘探项目(E0804)的共同资助

第一作者简介 王 焕,女,1983年生,在读硕士研究生,主要从事矿物学及矿床学研究工作。Email:wanghuan0920@tom.com 收稿日期 2010-11-23;改回日期 2011-02-10。许德焕编辑。

tent, ore-forming temperature and the amount of chalcopyrite melted from solid solution. The research on the detachable portion of bornite ore and the formation conditions of gladite ore in this ore deposit shows that bornite ores were mainly formed in the medium-high temperature phase  $(225^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C})$ , with a few formed in the medium temperature stage  $(175^{\circ}\text{C} \sim 225^{\circ}\text{C})$  in the Jiama copper polymetallic deposit. A study of sulfur isotopic composition of copper minerals shows that sulfur was mainly derived from magmatic sources in this ore deposit. Mineralogical studies of bornites have confirmed that the formation of the Jiama copper polymetallic deposit was related to Miocene magmatic activity rather than to SEDEX held by previous researchers.

Key words: geology, bornite, magmatism, Jiama copper-polymetallic deposit, Tibet

甲玛铜多金属矿床是冈底斯成矿带内具有重大 经济意义和科学研究意义的一个超大型矿床 ,与相 邻的驱龙斑岩型铜钼多金属矿床一并成为拉萨经济 圈的重要矿业双子星(唐菊兴等,2010)。对该矿床 的成矿时代(应立娟等,2009;2010a),元素分带特征 (郑文宝等 ,2010 ),矿床成因(冯孝良等 ,2001 ;李光 明等,2005;连玉等,2008;应立娟等,2009;唐菊兴 等 2010), 矿床模型(唐菊兴等 ,2010), 等方面已做了 较深入的研究 ;但对其矿物学的研究却相对薄弱。 迄今 ,世界上尚未见有哪个斑岩型-矽卡岩型铜多金 属矿床有如此多的原生斑铜矿作为主要铜矿物。对 中国国内斑岩型。矽卡岩型铜多金属矿床的归纳总 结 赵一鸣 ,1990 ,黄崇柯等 ,1999 )表明 ,这类矿床的 铜矿石矿物多以黄铜矿为主(其矿石类型为黄铜矿 🔍 黄铁矿型),有少数以辉铜矿、蓝辉铜矿为主,个别以 次生成因的斑铜矿为主,只有甲玛矿床的铜矿石矿 物以斑铜矿、黄铜矿为主,且其斑铜矿为原生硫化 物。位于甲玛矿床北东侧约 30 km 处的帮浦矿床, 是冈底斯成矿带内的另一个斑岩型-矽卡岩型铜多 金属矿床,该矿床内只有少量斑铜矿产出(孟祥金 等,2007)。

作为甲玛铜多金属矿床内最主要含铜矿物之一 的斑铜矿,在矿床中的产出和分布特征、与其他矿物 之间的关系、矿物组构特征、成分组成特征以及成因 等方面的研究,具有十分重要的意义。王焕等 (2011)初步分析了该矿床主要金属硫化物的特征; 应立娟等(2010c)对该矿床中斑铜矿的特征进行了 简要分析。本文对该矿床内斑铜矿的矿物学特征进 行了较为全面的研究,以揭示其空间产出和分布规 律、研究其形成时的物理化学条件,为矿床成因研究 提供成因矿物学方面的佐证。

# 1 矿床地质特征

甲玛铜多金属矿床在构造上位于冈底斯带的冈 底斯-念青唐古拉复合火山-岩浆弧的东部(图1)潘 桂棠等 2006),是产在冈底斯成矿带东段的十分重 要的铜多金属矿床之一。该矿床的钼、铅锌、伴生金 和银的含量均达到大型以上规模<sup>①</sup>。

该矿区内出露地层较简单,主要为上侏罗统多 底沟组(J<sub>3</sub>d)、下白垩统林布宗组(K<sub>1</sub>l)及少量第四 系(Q)。第四系残坡积物仅在该矿区西北部牛马塘 附近少量出露。林布宗组的岩性以砂板岩和角岩为 主,主要分布于该矿区的北部。多底沟组的岩性为 灰岩和大理岩,分布于矿区的南部,有少量出露于矿 区西北部牛马塘附近(图2)。

该矿区内岩浆岩期次较多,成矿前和成矿后期 均有发育,主要以岩脉、岩枝形式产出,岩性主要为 花岗斑岩、黑云二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、闪长 玢岩等,次为基性-超基性岩脉。

甲玛铜多金属矿床的矿石类型按工业类型可分 为矽卡岩型铜铅锌多金属矿石、角岩型铜钼矿石,及 斑岩型钼铜矿石(唐菊兴等,2010),以矽卡岩型矿石 为主体。矽卡岩型矿体受多底沟组和林布宗组层间 构造带及甲玛-卡军果区域推覆体系的控制;角岩型 矿体赋存于矽卡岩矿体之上,产在林布宗组角岩内。 角岩型矿体的矿石矿物以黄铜矿和辉钼矿为主,含 少量斑铜矿、黝铜矿等,其脉石矿物以石英为主,呈 脉状产出,其次为绿帘石、绿泥石等,含极少量石膏。 矽卡岩型矿体内矿石矿物的种类相对较多,以斑铜 矿、黄铜矿、黝铜矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿 为主,其次为辉铜矿、硫铋铜矿、铜蓝、孔雀石等,脉

● 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭 娜,郭 科,郑文宝,秦志鹏,李 磊,凌 娟,叶 江,黎枫佶,姚晓峰,李 志军,孙 艳,王 友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛矿区外围铜多金属矿详查报告. 内部资料.



图 1 西藏构造单元划分和冈底斯构造单元细结构(据潘桂棠等 2006 略作修改) Fig. 1 Tectonic subdivisions of the Gangdise orogenic belt in Tibet(after Pan et al., 2006)

石矿物以矽卡岩矿物为主,包括石榴子石(钙铝榴 石、钙铁榴石),硅灰石、透辉石等,其次为石英、方解 石、绿帘石、绿泥石、石膏、萤石等。

2 斑铜矿产出特征

# 2.1 斑铜矿产出形式

在甲玛矿床内,斑铜矿分布十分广泛,每条勘探 线中均有产出。矿床中斑铜矿的产出深度不尽一 致,钻孔的最大见矿深度可达716 m 左右,最浅处, 近地表即可见。斑铜矿矿石主要产在砂卡岩中,且 多分布于砂卡岩下部靠近大理岩的硅灰石砂卡岩 中,有少量产于角岩的中-上部及大理岩(弱砂卡岩 化)中(图3)。在硅化角岩中,斑铜矿及其集合体的 粒度相对细小、含量较少,多沿裂隙面(图4a)或伴随 强硅化呈细脉状(图4b)、星散状产出,矿物组合以斑 铜矿+黄铜矿、斑铜矿+黄铜矿+辉钼矿、斑铜矿+ 黄铁矿为主。在大理岩中,斑铜矿多呈斑点状(图 4c)团斑状,局部沿裂隙充填呈脉状(图4d)产出,矿 物组合以斑铜矿+黄铜矿、斑铜矿+黄铜矿+黝铜 矿、斑铜矿+黝铜矿为主。在矽卡岩中,斑铜矿的产 出形态多样,呈星散状(图4e)团斑状、脉状(图4f) 块状等,矿物组合亦多样,主要为斑铜矿+黄铜矿、 斑铜矿+辉钼矿、斑铜矿+黝铜矿、斑铜矿+黄铜矿 +黝铜矿、斑铜矿+硫盐矿物(硫铋铜矿)等。

甲玛矿床中发育多种砂卡岩,主要有石榴子石 砂卡岩、硅灰石砂卡岩、透辉石砂卡岩及绿帘石砂卡 岩等。在野外露头观察及编录过程中发现,斑铜矿 的产出数量和发育程度与矽卡岩中硅灰石的发育程 度密切相关,其次是与石榴子石砂卡岩相关,只有少 量斑铜矿与透辉石砂卡岩(共)/伴生。斑铜矿的产出 形式以矽卡岩矿物粒间充填交代为主(图 5a、b、c), 其次以裂隙充填(图 5d、e)和后期石英硫化物脉(图 5f)产出,亦常见以块状(图 5g)或稠密浸染状(图 5h)



#### 图 2 甲玛铜多金属矿床地质简图(据唐菊兴等 2009●修改)

 1—第四系;2—下白垩统林布宗组砂板岩、角岩(K<sub>1</sub>*l*);3—上侏罗统多底沟组灰岩、大理岩(J<sub>3</sub>*d*);4—矽卡岩化灰岩、大理岩;5—喜马拉雅 晚期花岗闪长斑岩脉;6—喜马拉雅晚期花岗斑岩脉;7—砂卡岩;8—砂卡岩型矿体;9—滑覆构造断裂;10—见矿钻孔;11—未见矿钻孔;
 12—勘探线及编号

Fig. 2 Simplified geological map of the Jiama Cu polymetallic ore deposit (modified after Tang et al., 2009)
1—Quaternary; 2—Sandslate and hornfels in Lower Cretaceous Linbuzong Formation; 3—Limestone and marble in Upper Jurassic Duodigou Formation; 4—Skarnized limestone and skarnized marble; 5—Granite diorite porphyry vein of late Himalayan period; 6—Granite porphyry vein of late Himalayan period; 7—Skarn; 8—Skarn-type ore body; 9—Decollement-nappe structure fault; 10—Ore-intersecting drill hole; 11—Drill hole without ore; 12—Exploration line and its serial number

# 直接产出在硅灰石矽卡岩中。

## 2.2 矿石组构特征

在甲玛矿床矽卡岩型矿体的矿石中,斑铜矿多 与黄铜矿、黝铜矿、辉铜矿等铜矿物共生,形成原生 铜硫化物矿石,包括斑铜矿-黄铜矿矿石、黄铜矿-斑 铜矿矿石、黄铜矿-斑铜矿-黝铜矿(辉铜矿)矿石,以 及少量独立的斑铜矿矿石。矿石构造以浸染状和团 斑状构造为主,其次为脉状和网脉状构造,局部发育 块状构造。在矿石结构中,固溶体分离结构十分发 育 其次为交代结构、他形-半自形晶结构等。固溶 体分离结构主要表现为黄铜矿与斑铜矿互为主客 晶 斑铜矿(或黄铜矿)呈无定向的或定向的乳滴状 或叶片状(图 6a)以及格子状(图 6b、c)产于黄铜矿 (斑铜矿)中,或者斑铜矿中有辉铜矿、硫铋铜矿等出 溶物,或者形成共结边结构(图 6d),表现为两者接触 边界平滑、无穿切关系,近于同时形成。交代结构表 现为辉铜矿、方铅矿、闪锌矿等沿斑铜矿边缘或结晶 方向进行交代,形成交代边缘(图 6e),或斑铜矿交代

● 唐菊兴,王登红,钟康惠,汪雄武,郭衍游,刘文周,应立娟,郭 娜,郭 科,郑文宝,秦志鹏,李 磊,凌 娟,叶 江,黎枫佶,姚晓峰,李 志军,孙 艳,王 友,白景国,唐晓倩,裴有哲,彭惠娟. 2009. 西藏自治区墨竹工卡县甲玛矿区外围铜多金属矿详查报告. 内部资料.



Fig. 3 Histogram of No. ZK2418 drill hole in the Jiama ore district

脉石矿物等。单颗粒斑铜矿多表现为他形-半自形 晶结构,颗粒边界不规则(图 6f)粒度多变化于 0.01 ~0.3 mm 之间。手标本和矿相学研究表明,甲玛矿 床内的斑铜矿可分为 2 个世代:第 1 世代斑铜矿与 第 1 世代黄铜矿近于同时形成,即表现为具有大量 的斑铜矿-黄铜矿固溶体分离结构及共结边结构;第 2 世代斑铜矿多呈石英-斑铜矿脉形式产出(图 5f)。

- 3 斑铜矿成分特征
- 3.1 斑铜矿的成分

对产于不同类型矿石中的斑铜矿进行了电子探

针分析 结果见表 1。不同类型矿石中斑铜矿的主元 素 Fe、Cu、S 的含量有所差异。与这些元素含量的理 论值 [w(S) 25.55%、w(Cu) 63.33%、w(Fe)11.12% (周剑雄等,1988)相比,角岩型矿石中斑铜 矿的 u(Cu)值偏低,2件样品的 w(Cu)平均值为 51.30%,但 u(Fe) w(S)值明显偏高,2件样品的 平均值分别为 u(Fe) 14.662%、u(S)33.374%,透 辉石砂卡岩中斑铜矿的 u(Cu)值偏高、而 u(Fe)值 较低;大理岩及石榴子石和硅灰石砂卡岩中斑铜矿 的 u(Fe) w(Cu) u(S)值与理论值相差不多。

在各类型矿石的斑铜矿中:微量元素 Ag 和 Zn 的含量均较高、分布较为均匀;均未检测到Bi,表明



## 图 4 甲玛铜多金属矿床不同岩性中斑铜矿产出特征

a. ZK3220 孔, -63.3 m处, 硅化角岩中斑铜矿+黄铁矿; b. ZK2418 孔, -55 m处, 硅化角岩中斑铜矿+黄铜矿; c. ZK721 孔, -477.2 m 处, 大理岩中团斑状斑铜矿; d. ZK721 孔, -477.8 m处, 大理岩中脉状斑铜矿+黄铜矿; e. ZK024 孔, -620.4 m处, 砂卡岩中浸染状斑铜 矿; f. ZK024 孔, -511.8 m处, 砂卡岩中粗脉状斑铜矿; Bn一斑铜矿; Py一黄铁矿; Cp一黄铜矿

Fig. 4 Features of bornite in rocks of different lithologic characters in the Jiama Cu polymetallic deposit
a. ZK3220-63.3 m, bornite and pyrite in silicified hornfels: b. ZK2418-55 m, bornite and chalcopyrite in silicified hornfels: c. ZK721-477.2 m, spotted bornite in marble: d. ZK721-477.8 m, bornite and chalcopyrite vein in marble: e. ZK024-620.4 m, disseminated bornite in skarn: f. ZK024-511.8 m, large bornite vein in skarn: Bn—Bornite: Py—Pyrite: Cp—Chalcopyrite

其含量极低;基本不含 As、Se,仅极个别样品可见; Co在角岩型矿石的斑铜矿中未见,而在其他类型矿石的斑铜矿中均有均匀分布;大理岩中的斑铜矿不 含 Ni,而在其他类型矿石的斑铜矿中,Ni 分布不均 匀;在不同类型矿石的斑铜矿中,Te 和 Au 分布不均 匀。

### 3.2 斑铜矿的颜色

甲玛矿床内斑铜矿的颜色较复杂,手标本上可 呈锖紫色、紫红色、锖蓝色、棕色以及蓝色等;显微镜 下可见斑铜矿的反射色为玫瑰色、锖紫色和较深的 蓝紫色等。斑铜矿的颜色和反射色的多样性可能是 由其形成时成矿溶液成分、物理条件以及出溶物含



图 5 甲玛矿床不同类型矽卡岩中斑铜矿产出特征

a. ZK1208 孔, -262.65 m处, 硅灰石砂卡岩中斑铜矿; b. ZK1205 孔, -188.6 m处, 石榴子石砂卡岩中斑铜矿; c. ZK2315 孔, -274.9 m 处, 硅灰石砂卡岩中斑铜矿; d. ZK722 孔, -435.6 m处, 石榴子石砂卡岩中斑铜矿; e. ZK1602 孔, -64.87 m处, 石榴子石砂卡岩中斑铜 矿+黄铜矿; f. ZK1602 孔, -76.87 m处, 砂卡岩石英脉中斑铜矿; g. ZK1602 孔, -126.78 m处, 砂卡岩中团块状斑铜矿+黄铜矿; h. ZK1602 孔, -126.9 m处, 砂卡岩中斑铜矿; Bn一斑铜矿; Wo一硅灰石; Gr一石榴子石; Qz一石英; Cp一黄铜矿

Fig. 5 Features of bornite in different skarn types of the Jiama ore deposit

a. ZK1208 – 262.65 m, bornite in wollastonite skarn: b. ZK1205 – 188.6 m, bornite in garnet skarn: c. ZK2315 – 274.9 m, bornite in wollastonite skarn: d. ZK722 – 435.6 m, bornite in garnet skarn: e. ZK1602 – 64.87 m, bornite and chalcopyrite in garnet skarn: f. ZK1602 – 76.87 m, bornite in quartz vein of skarn: g. ZK1602 – 126.78 m, crumbly bornite and chalcopyrite; h. ZK1602 – 126.9 m, bornite in skarn Bn—Bornite; Wo—Wollastonite: Gr—Garnet; Qz—Quartz; Cp—Chalcopyrite



#### 图 6 西藏甲玛铜多金属矿床斑铜矿组构特征

a. JM3901 孔, -77.78 m处, 砂卡岩, 固溶体分离作用形成叶片状结构(斑铜矿中出溶黄铜矿)(单偏光); b. JM9602 孔, -145.7 m处, 绢 云母板岩, 固溶体分离作用形成格状结构(黄铜矿中出溶斑铜矿)(单偏光); c. JM3901 孔, -90.08 m处, 砂卡岩, 固溶体分离作用形成格状 结构(斑铜矿中出溶黄铜矿)(单偏光); d. JM2309 孔, -148.2 m处, 砂卡岩, 固溶体分离作用形成黄铜矿与斑铜矿共结边结构(斑铜矿 + 黄铜矿)(单偏光); e. JM2409 孔, -429.75 m处, 砂卡岩交代结构(单偏光); f. JM803 孔, -66.8 m处, 砂卡岩, 他形-半自形晶结构(斑铜 矿+辉铜矿)(单偏光); Bn-斑铜矿; Cn-方铅矿; Cc-辉铜矿; Cp-黄铜矿

### Fig. 6 Fabric characteristics of bornite in the Jiama Cu polymetallic deposit

a. JM3901 – 77. 78 m, skarn, foliated texture generated by solid solution decomposition: chalcopyrite in bornite (plainlight); b. JM9602 – 145. 7
m, sericite slate, lattice texture generated by solid solution decomposition: bornite in chalcopyrite (plainlight); c. JM3901 – 90.08 m, skarn, lattice texture generated by solid solution decomposition: chalcopyrite in bornite (plainlight); d. JM2309 – 148.2 m, skarn, eutectic boundary texture: bornite and chalcocite (plainlight); e. JM2409 – 429.75 m, skarn, metasomaric texture (plainlight); f. JM803 – 66.8 m, skarn, xenomorphichypidiomorphic granular bornite and chalcocite (plainlight); Bn—Bornite: Gn—Galena; Cc—Chalcocite; Cp—Chalcopyrite

	Table1	Electron	microprot	oe analyses	of borni	e from di	fferent or	s in the J	iama copj	oer-polymet	allic dep	osit			
王	마							w(B)	%/(						
中	1997年199	Fe	°Cu	s	Λu	Λg	$\Lambda s$	З	ź	Zn	Bi	Sb	Te	Š	总利
	JM2409-429.75-1-1-4	11.276	63.483	25.681	0	0.1	0	0.022	0	0.024	0	0	0.011	0	100.597
	JM2409-429.75-2-1-2	11.245	64.443	25.744	0	0.097	0	0.04	0.033	0.018	0	0	0	0	101.62
	JM1602-104.3-1-1-1	11.466	63.559	25.946	0.066	0.026	0	0.021	0	0.031	0	0	0.089	0	101.204
	JM1602-104.3-1-1-4	11.496	63.571	25.846	0	0.132	0	0.013	0	0.01	0	0	0	0	101.068
硅灰石	JM11602-104.3-1-1-5	11.158	63.013	25.942	0.097	0.096	0	0.012	0	0	0	0.032	0.169	0	100.519
砂卡岩	JM1602-104.3-2-4	11.243	64.009	25.867	0.06	0.138	0	0.005	0	0.023	0	0	0	0	101.345
	JM1602-104.3-2-7	11.181	63.424	25.857	0.07	0.112	0	0	0.004	0.002	0	0	0	0	100.65
	JM1604-239.1-1-1-3	11.54	63.192	25.865	0	0.085	0	0.049	0	0.075	0	0	0.112	0	100.918
	JM1604-239.1-1-2-4	11.034	63.372	26.247	0.037	0.076	0.008	0.021	0.004	0.061	0	0	0	0	100.86
	JM1604-239.1-1-2-6	11.262	64.014	25.867	0	0	0	0	0	0.066	0	0.015	0.09	0	101.314
	JM1608-388.3-1-1-4	10.444	63.506	25.811	0	0.034	0	0.066	0	0.03	0	0.009	0.122	0	100.022
	JM1608-388.3-1-1-6	10.865	63.164	25.756	0.11	0.045	0	0	0	0.072	0	0	0	0	100.012
添緒力	JM11608-388.3-1-2-2-4	10.279	65.164	25.768	0.036	CI.0	0	0.007	0	0.029	0	0	0	0	101.383
11 년 년 11 년 년	JM1608-388. 3-1-2-2-5	11.267	63.063	26.167	0.06	0.074	c	0.02	0.017	0.026	0	0.005	0	0	100.699
包卜石	JM1608-388.3-1-2-1-1	9.662	64.767	25.643	0.03	0.053	0	0.014	0.002	0.047	0	0	0	0	100.218
	JM1608-388.3-1-2-1-2	10.348	64.298	25.987	0	0.05	0	0.059	0.012	0.047	0	0	0	0	100.801
	JM1608-388.3-1-2-3-5	11.076	63.474	26.057	0	0.041	0	0.026	0	0.038	0	0	0.033	0	100.745
	JM1602-76.3-2	11.531	63.153	26.105	0	0.09	0.024	0.003	0	0.005	0	0	0	0	100.911
石榴子石	JM1602-76.3-3	11.367	62.809	26.295	0	0.11	0	0.017	0.008	0.064	0	0	0.167	0.043	100.88
砂卡岩	JM1602-76.3-5	11.348	62.114	25.906	0	0.127	0	)) •	0.001	0.065	0	0	0.111	0.087	99.759
	JM1602-76.3-4	11.474	63.724	26.045	0.088	0.169	0	0.016	C	0	0	0.006	0.134	0	101.656
	JM1608-396.4-1-1-1	11.545	63.594	26.44	0.033	0.078	0	0.053	6	0.015	0	0	0	0	101.758
大理岩	JM1608-396.4-1-1-2	11.169	64.333	25.731	0	0.12	0	0.04	0	0.034	0	0	0.022	0.031	101.48
	JM1608-396.4-1-2-3	11.363	64.151	25.505	0	0.118	0	0	0	0.008	0	0	0	0.057	101.202
硅化	JM1622-229.9-1-2	14.949	50.486	33.271	0	0.244	0	0	0.007	0	0	0.098	0.454	0.075	99.584
角岩	JM1622-229.9-1-4	14.135	51.273	32.931	0.197	0.056	0.075	0	0	0.111	0	0	0	0	98.778
测试仪器: D	XA-8800型电子探针:测试条件:	加速电压	为20 kV,	東电流为	20 nA, 東	斑直径为5	i pun: 邀试	单位及测词	【者:中国	地质科学院研	广产资源	研究所陈振	。		

第30卷 第2期

甲玛铜多金属矿床内不同类型矿石中斑铜矿的电子探针分析数据

表1

$\mu_{\mu}$ <		Table 2 El	lectron micr	oprobe and	alyses of bc	ornite in di	fferent colo	irs in the Ji	uma Cu-po	lymetallic (	deposit			
Fe         CO         S         Au         Ag         As         Co         Ni         Zh         Sh         Te         Se         Zh         Se         Zh           5-3211         9.357         65.946         23.43         0         0.13         0         0.034         0.034         0.04         0.04         0.04         0.04         0.015         Se.946           3-1211         9.562         64.767         25.643         0.03         0.033         0         0.031         0         0.04         0.04         0.04         0.04         0.031         Se.949         99.21           3-31-3         10.75         65.347         25.933         0         0.111         0.109         0.011         0.014         0.023         0.014         0         0.01         99.21           5-31-4         10.47         63.266         25.811         0         0.11         0         0.01         0         0.03         99.21         99.23           5-31-14         10.441         63.506         25.811         0         0.103         0         0.04         0         0         0         99.246           5-11-16         10.866         63.104         2	nù	,	~					w(B)/%						
	۲ ¢	Fe	G	s	$\Lambda u$	Λg	$\Lambda s$	C	ïŻ	Zn	Sb	Te	Se	总和
88.3-11211         9.662 $64.767$ $25.643$ $0.03$ $0.033$ $0$ $0.014$ $0.02$ $0.047$ $0$	149.5-3-2-1	9.357	65.948	23.43	0	0.13	0	0.034	0.034	0.04	0.008	0	0.015	98.996
	88.3-1-2-1-	9.662	64.767	25.643	0.03	0.053	0	0.014	0.002	0.047	0	0	0	100.218
46331.3 $10.935$ $63.14$ $25.893$ $0.011$ $0.197$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0.044$ $0$ $0.067$ $0.026$ $100.31$ $49.531.4$ $10.47$ $63.266$ $25.807$ $0.051$ $0.109$ $0.026$ $0.007$ $0$ $0$ $0$ $0.121$ $0$ $99.857$ $546351.3$ $10.49$ $63.17$ $25.937$ $0$ $0.11$ $0$ $0.015$ $0$ $0.05$ $0$ $0.144$ $0.371$ $99.908$ $38.3.11.4$ $10.444$ $63.506$ $25.811$ $0$ $0.045$ $0$ $0.05$ $0$ $0.025$ $0.144$ $0$ $0.122$ $0$ $100.025$ $388.3.11.6$ $10.866$ $63.164$ $25.756$ $0.11$ $0.043$ $0$ $0.072$ $0$ $0.122$ $0$ $100.025$ $388.3.11.6$ $10.866$ $63.164$ $25.756$ $0.11$ $0.045$ $0$ $0.025$ $0.025$ $0.026$ $0.026$ $0$ $0.025$ $0.026$ $0.026$ $0$ $0.025$ $0.026$ $0.026$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0.026$ $0.026$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ <t< td=""><td>5-463-2-1-3</td><td>10.7</td><td>62.503</td><td>25.793</td><td>0</td><td>0.118</td><td>0</td><td>0.031</td><td>0</td><td>0.031</td><td>0</td><td>0</td><td>0.034</td><td>99.21</td></t<>	5-463-2-1-3	10.7	62.503	25.793	0	0.118	0	0.031	0	0.031	0	0	0.034	99.21
49.5.3.14 $10.47$ $63.266$ $25.807$ $0.051$ $0.109$ $0.026$ $0.007$ $0$ $0$ $0$ $0.114$ $0$ $99.887$ $5.465.5.13$ $10.49$ $63.17$ $25.937$ $0$ $0.11$ $0$ $0.015$ $0$ $0.005$ $0$ $0.144$ $0.037$ $99.908$ $388.31.14$ $10.444$ $63.506$ $25.811$ $0$ $0.034$ $0$ $0.066$ $0$ $0.003$ $0.144$ $0.037$ $0$ $100.022$ $388.31.146$ $10.865$ $63.164$ $25.756$ $0.11$ $0.045$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $100.022$ $388.31.1.244$ $10.279$ $65.164$ $25.756$ $0.11$ $0.045$ $0.007$ $0$ $0$ $0$ $0$ $100.022$ $388.31.1.2244$ $10.279$ $65.164$ $25.758$ $0.036$ $0.11$ $0.045$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $5463.11.1$ $11.158$ $63.144$ $25.748$ $0.061$ $0.191$ $0.022$ $0.0192$ $0.026$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $5463.31.2$ $11.164$ $62.327$ $25.94$ $0.061$ $0.191$ $0.029$ $0.026$ $0.036$ $0.136$ $0.136$ $0.036$ $0.0136$ $0.023$ $0$ $0.026$ $0$ $0$ $0.026$ $5463.31.2$ $11.158$ $63.145$ $26.142$ $0.014$ $0.016$ $0.026$ $0$ $0.026$ $0$ $0.028$ $0$ $0.028$ <td< td=""><td>5-463-3-1-3</td><td>10.935</td><td>63.14</td><td>25.893</td><td>0.011</td><td>0.197</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.044</td><td>0</td><td>0.067</td><td>0.026</td><td>100.313</td></td<>	5-463-3-1-3	10.935	63.14	25.893	0.011	0.197	0	0	0	0.044	0	0.067	0.026	100.313
$ \begin{array}{ ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	-449.5-3-1-4	10.47	63.266	25.807	0.051	0.109	0.026	0.007	0	0	0	0.121	0	99.857
388.3-1-1410.444 $63.506$ $25.811$ 0 $0.034$ 0 $0.066$ 0 $0.03$ $0.009$ $0.122$ 0 $100.022$ 388.3-1-1610.865 $63.164$ $25.756$ $0.11$ $0.045$ 0000000000388.3-1-2.2410.279 $65.164$ $25.768$ $0.036$ $0.11$ $0.042$ $0.007$ 000000005463-1-111.158 $63.214$ $25.81$ 0 $0.217$ 0 $0.042$ $0.016$ $0.029$ 000005463-1-111.158 $61.537$ $25.894$ $0.061$ $0.191$ 0 $0.042$ $0.016$ $0.042$ <	5-463-5-1-3	10.49	63.17	25.937	0	0.11	0	0.015	0	0.005	0	0.144	0.037	99.908
388.3-1-16 $10.865$ $63.164$ $25.756$ $0.11$ $0.045$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $100.012$ $188.3-1-2.24$ $10.279$ $65.164$ $25.768$ $0.036$ $0.11$ $0$ $0.007$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $101.383$ $5463-1-1$ $11.158$ $63.214$ $25.814$ $0$ $0$ $0.217$ $0$ $0.042$ $0.042$ $0.042$ $0.042$ $0.064$ $0.067$ $0$ $101.383$ $5463-3-1.1$ $11.135$ $61.537$ $25.492$ $0$ $0.191$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0$ $0.042$	-388.3-1-1-4	10.444	63.506	25.811	0	0.034	0	0.066	0	0.03	0.009	0.122	0	100.022
$ \begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	-388.3-1-1-6	10.865	63.164	25.756	0.11	0.045	0	0	0	0.072	0	0	0	100.012
$\begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$	-388.3-1-2-2-	4 10.279	65.164	25.768	0.036	0.1	Ĩ	0.007	0	0.029	0	0	0	101.383
5.463-3-1.1       11.135       61.537       25.594       0.061       0.191       0       0       0       0.016       0.008       0       0.136       98.678         5.463-3-1.2       11.164       62.327       25.492       0       0.183       0       0.007       0.003       0.037       0       00.033       0       99.246         5.463-5-1.1       11.221       62.347       26.175       0       0.097       0       0.039       0       0.078       0       99.246         5.463-5-1.2       11.28       63.145       26.144       0.116       0.062       0.014       0       0       0       09.085	)5-463-1-1-1	11.158	63.214	25.81	0	0.217		0.042	0.019	0.042	0.004	0.067	0.121	100.694
5-463-3-1.2         11.164         62.327         25.492         0         0.183         0         0.007         0.003         0.037         0         0.033         0         99.246           5-463-5-1-1         11.221         62.347         26.175         0         0.097         0         0.039         0         0.028         0         99.246           5-463-5-1-2         11.28         63.145         26.144         0.116         0.062         0.014         0         0         0         09.665	)5-463-3-1-1	11.135	61.537	25.594	0.061	0.191	0	0	0	0.016	0.008	0	0.136	98.678
$5463-5-1-1 \qquad 11.221 \qquad 62.347 \qquad 26.175 \qquad 0 \qquad 0.097 \qquad 0 \qquad 0.039 \qquad 0 \qquad 0.028 \qquad 0 \qquad 0.078 \qquad 0 \qquad 99.985 \qquad 5463-6-1-2 \qquad 11.28 \qquad 63.145 \qquad 26.144 \qquad 0.116 \qquad 0.062 \qquad 0.037 \qquad 0.014 \qquad 0 \qquad $	)5-463-3-1-2	11.164	62.327	25.492	0	0.183	0	0.007	0.003	0.037	0	0.033	0	99.246
5463-61-2 11.28 $63.145$ 26.144 0.116 0.062 0.037 0.014 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 100.865	)5-463-5-1-1	11.221	62.347	26.175	0	0.097	0	0.039	0	0.028	0	0.078	0	99.985
	15-463-6-1-2	11.28	63.145	26.144	0.116	0.062	0.037	0.014	0	0	0	0.067	0	100.865

表 2 甲玛铜多金属矿床内不同颜色斑铜矿的电子探针分析数据

데 개 가 가 14 년 수 가 가장구 면 한 상 사람이 수 나 구

\_\_\_\_\_

314

2011 年

量等的不同引起的。不同颜色斑铜矿的电子探针分 析结果见表 2。

由表 2 可见,不同颜色的斑铜矿,其主元素 Cu、 Fe、S 的含量明显不同;在 Fe 含量由低至高的变化 过程中,其反射色显示出蓝紫色→锖紫色→棕红色 的变化趋势,可见 Fe 含量的高低是斑铜矿颜色变化 的一个重要因素。此外,显微镜下观察发现,在锖紫 色及蓝紫色的斑铜矿中,多含有出溶物硫铋铜矿、辉 铜矿等,斑铜矿-辉铜矿固溶体分离结构反映了分解 出斑铜矿的温度条件(175~225℃)有所降低。由此 可推测,造成斑铜矿颜色变化的另一个重要因素是, 斑铜矿形成温度的降低及由此引起的出溶物的析 出。

3.3 斑铜矿形成的温度条件

甲玛矿床矿石中的斑铜矿普遍发育固溶体分离 结构,该结构是矿石形成环境的指示剂(陈正等, 1985)。斑铜矿-黄铜矿固溶体分离结构的出溶温度 为 225 ~ 475℃ [Schwartz, 1931(转引自陈正等, 1985)〕,而且,斑铜矿中发育呈网格状出溶的黄铜 矿,反映出该种矿石经历了温度大于475℃条件下的 冷却过程斑铜矿\_辉铜矿固溶体分离结构的出溶温 🛝 度为 175~225℃ [Schwartz, 1928(转引自陈正等, 1985)]。较之斑铜矿-辉铜矿固溶体分离结构,甲玛 矿床中更多发育的是斑铜矿-黄铜矿以及斑铜矿-硫 铋铜矿固溶体分离结构。斑铜矿-黄铜矿固溶体分 离结构反映出甲玛矿床必然经历了中高温形成过 程 而且 该矿床中铋矿物 硫铋铜矿等 的研究亦表 明 其形成经历了中-高温环境(应立娟等,2010b)。 据此可断定,甲玛矿床内的斑铜矿多数形成于中-高 温条件 ,有少量可能形成于中温条件 ,该矿床的形成 与岩浆活动关系密切。

3.4 金属硫化物硫同位素特征

前人对甲玛铜多金属矿床主要铜矿物的硫同位 素组成进行了研究(表3)。8件黄铜矿样品的 $\delta^{34}$ S 值变化于  $-1.20\% \sim -0.10\%$ 之间,平均值为 -0.64%.6件斑铜矿样品的 $\delta^{34}$ S 值变化于 -1.20% $\sim -0.30\%$ 之间,平均值为 -0.81%.01件黝铜矿样 品的 $\delta^{34}$ S值为 -1.50%.0这3种硫化物的 $\delta^{34}$ S值的 变化范围均较窄,表明该矿床硫同位素的均一化程 度较高,硫的来源较为稳定。

前人研究认为:地幔来源硫的 $\delta^{34}$ S值接近于 0, 变化范围为(0±3)‰;现代海水硫的 $\delta^{34}$ S值约为 +20‰,变化较大;还原硫或称生物硫的 $\delta^{34}$ S值以较

表 3 甲玛铜多金属矿床主要含铜矿物硫同位素组成

 
 Table 3
 Sulphur isotopic composition of main copper-bearing minerals in the Jiama Cu-polymetallic deposit

样品号	产出特征	测定对象	$\delta^{34}$ SV‰	数据来源
03103	千枚岩	磁苦牲矿	- 16 80	杜光树等,
95105	围岩		10.00	1998
JM-19	今矿斑岩	花岗斑岩	-0.20	曲晓明等,
JM-21		花岗斑岩	-0.70	2001
		黄铜矿	-1.00	姚鹏等,
		斑铜矿	-1.18	2002
JM108		黄铜矿	-0.10	
JM111	矽卡岩	黄铜矿	-0.40	佘宏全等,
JM114	矿石	黄铜矿	-0.30	2006
JM114		黝铜矿	-1.50	
JMPD12-Y50.3	C	斑铜矿	-0.50	
JM2804-413.85	Qu	斑铜矿	-0.30	
JMKSH4	0	斑铜矿	-1.20	
JM1609-451	》 矽卡岩 矿石	斑铜矿	-0.60	李永胜, 2000
JM2802-324.8	ы. м.	斑铜矿	-1.10	2009
JM2802-145.2		黄铜矿	-0.20	
JMPD103-CK2-162Y		黄铜矿	-1.20	
JMY-03	矽卡岩	黄铜矿	-0.9	
JMY-17	矿石	黄铜矿	-1.00	Qu et al. ,
JM-16	含矿斑岩	花岗斑岩	-0.6	2007

大负值为特征(郑永飞等,2000)。甲玛矿床内主要 含铜矿物的 <sup>34</sup>S 值集中分布于 - 1.20‰ ~ -0.10‰ 之间,平均值为 - 0.74‰,具深源岩浆硫特征,其矿 石内的硫可能主要来源于岩浆。

为了进一步追踪硫的来源,笔者收集到了甲玛 矿区与成矿关系密切的3件花岗斑岩的δ<sup>34</sup>S值 (-0.7‰,-0.6‰,-0.2‰)以及代表地层组成的1 件千枚岩内磁黄铁矿的δ<sup>34</sup>S值(-16.8‰)。显然, 地层硫具有生物有机硫同位素组成的特征,将甲玛 矿床内金属硫化物的硫同位素组成与该矿区内岩浆 岩及地层的硫同位素组成进行对比可见,该矿床成 矿物质中的硫主要来源于该矿区内的酸性岩浆岩 (花岗斑岩),不排除有少量地层硫的加入,但仍以岩 浆硫为主。

矿床成矿温度和硫同位素来源的研究表明,甲 玛铜多金属矿床的形成与岩浆作用密切相关,并非 前人所谓的喷流-沉积成因矿床,而是典型的斑岩型-矽卡岩型铜多金属矿床。

# 4 结 论

(1)甲玛铜多金属矿床矿石中的斑铜矿为原生 硫化物,主要产于矽卡岩型矿石中,尤其是硅灰石矽 卡岩与斑铜矿形成的关系最为密切;斑铜矿矿石组 构类别多样,常与黄铜矿构成固溶体分离结构,发育 (网)脉状、浸染状及块状构造。

(2)角岩型矿石中斑铜矿主元素的含量与理论 值相差较大,可能主要是由温度降低、斑铜矿分解造 成的。

(3)斑铜矿的颜色和反射色的多样性受其成分 中 Fe 含量、成矿温度及固溶体成分等因素的控制, Fe 含量增高、温度升高条件下形成的斑铜矿,其反射 色一般为锖紫色或紫红色,含辉铜矿、硫铋铜矿出溶 物的斑铜矿的反射色多为蓝色调。

(4)甲玛矿床的矿石矿物组合为:斑铜矿+黄铁矿,斑铜矿+黄铜矿,斑铜矿+辉铜矿,斑铜矿+辉铜矿,斑铜矿+颗铜矿,斑铜矿+黄铜矿+黝铜矿,斑铜矿+硫盐矿物、硫铋铜矿)。

(5)根据甲玛矿床中广泛发育的固溶体分离结 构的研究,可确定其斑铜矿主要形成于中-高温温度 条件。

(6)甲玛矿床内金属硫化物的硫同位素组成特 征印证了该矿床内的硫主要为岩浆来源。

(7)甲玛矿床内斑铜矿的矿物学研究成果表 明,该矿床属典型的斑岩型-矽卡岩型铜多金属矿 床。

#### Reference

- Chen Z , Yue S Q and Chen D F. 1985. Ore mineralogy[ M ]. Beijing : Geol. Pub. House. 115-123 ( in Chinese ).
- Du G S ,Yao P , Pan F C , Su D K , Li W B and Ning Y Y. 1998. Sedimentation-exhalation skarn and ore-formation-Exemplifide by Jiama copper-polymetallic depost, Xizang (Tibet) [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 74-78 (in Chinese).
- Feng X L , Guan S P , Mou C L , Hou Z Q and Li S R. 2001. Geological characteristics and genesis of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[J]. Geology-Geochemistry , 29(4): 40-48 (in Chinese with English abstract).
- Huang C K , Bai Y , Zhu Y S and Wang H Z. 1999. Copper deposits in China [M]. Beijing : Geol. Pub. House ( in Chinese ).
- Li G M , Rui Z Y and Wang G M. 2005. Molybdenite Re-Os dating of Jiama and Zhibula polymetallic copper deposits in Gangdese metall-

genic belt of Tibet and its significance[ J ]. Mineral Deposits , 24
(5):481-489( in Chinese with English abstract ).

- Li Y S. 2009. Geological characteristics and genesis of polymetallic copper deposit of Jiama , Tibet ( dissertation for master degree I D ]. Supervisor : Yan G S. Beijing : China University of Geoscience. 49-52 ( in Chinese with English abstract ).
- Lian Y , Xu W Y , Yang D , Chen W S , Qu X M and Chen D L. 2008. SP-XRF studies of fluid inclusions from the Jiama and Nanmu deposits in the Gangdise copper-polymetallic mentallogenic belt of Tibe[ J ] Acta Petrologica et Mineralogica , 27(3):468-479 (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 Tibd J ]. Mineral Deposits , 26(2):153-162 ( 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 and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica , 22(3): 521-533 ( in Chinese with English abstract ).
- 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, Zaw K and Li Y G. 2007. Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau : Preliminary geochemical and geochronological results J J. Ore Geology Reviews , 31 : 205-223.
- She H Q, Feng C Y and Zhang D Q. 2006. Study on the fluid inclusions from Jiama skarn copper polymetallic deposit and Qulong porphyry cpooer deposit in Gangdese copper belt ,Tibe [J]. Acta Pertrologica Sinica, 22(3):689-696 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X ,Wang D H , Wang X W , Zhong K H , Ying L J , Zheng W B , Li F J ,Guo N ,Qin Z P , Yao X F ,Li L ,Wang Y and Tang X Q. 2010. Geological featuers and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[ J ]. Acta Geoscientica Sinica , 31 (4):495-506( in Chinese with English abstract ).
- Wang H, Tang J X, Ying L J, Wang L Q and Qin Z P. 2011. Characteristics of the main ore minerals in the Jiama polymetallic deposit, Tibe[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natura Science Edition ). 38(1): 103-112( in Chinese with English abstract ).
- Yao P, Zheng M H, Peng Y M, Lin J G, Su D K and Fan W Y. 2002. Sources of ore-forming materials and the genesis of the Jiama copper and polymetallic deposit in Gandise island-arc belt, Xizang[J] Geological Review, 48(5):468-479 (in Chinese with English abstract).
- Ying L J , Tang J X , Wang D H , Chang Z S , Qu W J and Zheng W B.
  2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite in skarn from the Jiama copper polymetallic deposit of Tibet and its metallogenic significance
  [ J ]. Rock and Mineral Analysis , 28( 3 ): 265-268 ( in Chinese with English abstract ).
- Ying L J , Wang D H , Tang J X , Chang Z S , Qu W J , Zheng W B and Wang H. 2010a. Re-Os dating of molybdenite occurring in different

rocks from and its metallogenic significance[ J ]. Acta Geologica Sinica , 84(8):1165-1174 ( in Chinese with English abstract ).

- Ying L J ,Wang D H , Tang J X , Wang H , Chen Z Y , Zheng W B and Li F J. 2010b. Bismuth minerals and its relationship with copper mineralization in the Jiama copper polymetallic deposit , Tibet J J. Joural of Jilin University (Earth Science Edition ) , 40(4):801-809 ( in Chinese with English abstract ).
- Ying L J ,Wang D H , Tang J X , Wang H and Wang W P. 2010c. Analysis on characteristics of the bornite in the Jiama Cu polymetallic depositit J J. Mineral Deposits , 29( Supp. ): 325-326 ( in Chinese ).
- Zhao Y M. 1990. Skarn deposits in China[ M ]. Beijing : Science Press ( in Chinese ).
- Zheng W B , Chen Y C , Song X , Tang J X , Ying L J , Li F J and Tang X Q. 2010. Element distribution and geological significance in the Jiama copper polymetallic deposit , Tibe [ J ]. Mineral Deposits , 29 (5):1-10 (in Chinese with English abstract ).
- Zheng Y F and Chen J F. 2000. Stable isotopes geochemistory[ M ]. Beijing : Science Press. 143-245 ( in Chinese ).
- Zhou J X and Mao S H. 1988. Electron probe microanalysis [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 405-445 ( in Chinese ).

#### 附中文参考文献

- 陈 正,岳树勤,陈殿芬.1985.矿石学(上编]M]北京地质出版 社.115-123.
- 杜光树,姚 鹏,潘凤雏,粟登奎,李文彬,宁英毅. 1998. 喷流成 因砂卡岩与成矿——以西藏甲马铜多金属矿床为例[M]. 成都: 四川科学技术出版社. 74-78.
- 冯孝良,管仕平,牟传龙,侯增谦,李胜荣.2001.西藏甲马铜多金 属矿床的岩浆热液交代成因——地质与地球化学证瓶]].地质 地球化学,29(4):40-48.
- 黄崇柯,白 冶,朱裕生,王惠章, 1999, 中国铜矿床(上册 [ M ] 北 京 地质出版社.
- 李光明,芮宗瑶,王高明. 2005,西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜 多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其意义[J].矿床地质,24 (5):481-489.
- 李永胜. 2009. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及矿床成因探讨(硕 士论文 JD]. 导师: デ光生. 北京:中国地质大学. 49-52.
- 连 玉,徐文艺,杨 丹,陈伟十,曲晓明,陈栋梁. 2008. 西藏冈 底斯甲马和南木矿床流体包裹体 SR-XRF 研究 J] 岩石矿物学

杂志, 27(3):468-479.

- 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.
- 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,侯增谦,黄 卫.2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带:西藏第二 条玉龙铜矿带 J]?矿床地质,20(4):355-366.
- 佘宏全,丰成友,张德全.2006.西藏冈底斯铜矿带甲马矽卡岩型铜 多金属矿床与驱龙斑岩型铜矿流体包裹体特征对比研究J].岩 石学报,22(3):689-696.
- 唐菊兴,王登红,汪雄武,钟康惠,应立娟,郑文宝,黎枫佶,郭 娜,秦志鹏,姚晓峰,李 磊,王 友,唐晓倩.2010.西藏甲 玛铜多金属矿矿床地质特征及其矿床模型[j].地球学报,31 (4):495-506.
- 王 焕,唐菊兴,应立娟,王立强,秦志鹏. 2011. 西藏甲玛铜多金 属矿床主要矿石矿物特征[]].成都理工大学学报(自然科学版),38(1):103-112.
- 姚 鹏,郑明华,彭勇民,李金高,粟登奎,范文玉.2002.西藏冈底 斯岛弧带甲马铜多金属矿床成矿物质来源及成因研究]].地质 论评,48(5):468-479.
- 应立娟,唐菊兴,王登红,畅哲生,屈文俊,郑文宝.2009.西藏甲 玛铜多金属矿床砂卡岩中辉钼矿铼-锇同位素定年及其成矿意义 [1].岩矿测试,28(3):265-268.
- 应立娟,王登红,唐菊兴,畅哲生,屈文俊,郑文宝,王 焕. 2010a. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿不同矿石中辉钼矿 Re-Os 同位 素定年及其成矿意义[J].地质学报,84(8):1165-1174.
- 应立娟,王登红,唐菊兴,王 焕,陈振宇,郑文宝,黎枫佶. 2010b. 西藏甲玛铜多金属矿床中铋矿物及其与铜矿化关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版),40(4):801-809.
- 应立娟,王登红,唐菊兴,王 焕,王嵗平. 2010c. 西藏甲玛铜多金 属矿斑铜矿的特征浅桁[]]. 矿床地质 29(增刊) 325-326.
- 赵一鸣. 1990. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京 地质出版社.
- 郑文宝,陈毓川,宋 鑫,唐菊兴,应立娟,黎枫佶,唐晓倩.2010. 西藏甲玛铜多金属矿元素分布规律及地质意义[J].矿床地质, 29(5):1-10.
- 郑永飞 陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:科学出版 社. 143-245.
- 周剑雄,毛水和. 1988. 电子探针分析[M]. 北京 地质出版社. 405-445.