

西藏嘎拉勒铜金矿床金和银的赋存状态研究

何建娟, 肖渊甫, 郭 龙, 王瑜亮, 常 静, 赵亚男

(成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘 要: 班公湖-怒江成矿带是西藏重要的铜多金属成矿带。嘎拉勒铜金矿床是该成矿带中发现较晚、研究程度较低且具代表性的矽卡岩型铜金矿床, 矿石有用组分中金、银的赋存状态研究相对开展的较少, 限制了矿床进一步的综合开发利用。作者通过野外地质调查与采样, 采用光学显微镜鉴定、扫描电镜观察和 X 射线能谱仪测试分析等手段和方法, 对矿石成分组分做了详细的研究, 重点研究了矿床中金、银的赋存状态及主要载金矿物的特征。嘎拉勒铜金矿床金矿物以自然金、银金矿为主, 其次为金银矿, 可见粒间金、裂隙金及相对较少的包裹金形式, 主要的载金矿物为石英、白云石、方解石、金属氧化物、硫化物及自然铋等。银矿物主要以金银系列矿物形式存在, 少量自然银与放射性元素共生, 此外, 还有少量辉银矿。研究成果填补了该矿区金、银赋存状态研究的空白, 对矿床的开发、利用有着重要的指示意义。

关键词: 金银矿物; 赋存状态; 嘎拉勒; 班公湖-怒江成矿带; 西藏

中图分类号: P618.5; P578.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)06-1143-08

The modes of occurrence of gold and silver in the Galale copper gold deposit, Tibet

HE Jian-juan, XIAO Yuan-fu, GUO Long, WANG Yu-liang, CHANG Jing and ZHAO Ya-nan

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt is an important Cu polymetallic ore belt in Tibet. The Galale copper gold deposit was found relatively late in this metallogenic belt. It is a representative skarn type copper gold deposit, but the study of this deposit is at a low level. The study of the modes of occurrence of gold and silver in the useful components of the ore remains very insufficient, which restricts the further development and utilization of the ore deposit. The authors made a detailed study of the ore components by such means as sampling and field geological integrated investigation, optical microscope identification, scanning electron microscopy, energy dispersive X-ray spectrometer, and chemical formula calculation of mineral crystals. The gold minerals occur mainly as native gold and electrum and subordinately as küstelite. There are also intergranular gold, fissure gold and a relatively small amount of inclusion gold. The gold-bearing minerals are mainly quartz, dolomite, calcite, metal oxides, sulfides and native bismuth. Silver minerals mainly exists in the form of gold and silver minerals, with a small amount of silver minerals coexistent with radioactive elements. In addition, there exists a small amount of argentite. The results achieved by the authors have filled the gap of understanding the modes of occurrence of gold and silver in this area, and also provide important implications for the development and utilization of

收稿日期: 2013-12-09; 修订日期: 2014-10-26

基金项目: 国家公益性行业科研专项(201011013-3); 矿物学岩石学矿床学国家重点(培育)学科建设项目(SZD0407)

作者简介: 何建娟(1987-), 女, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: 718384357@qq.com; 通讯作者: 肖渊甫(1957-), 男, 教授, E-mail: xyf@cdut.edu.cn。

mineral deposits.

Key words: gold and silver minerals; modes of occurrence; Galale; Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt; Tibet

我国矽卡岩型铜矿床中金具有重要的价值,其资源量已占全国金矿总储量 20% 左右(吕立娜等, 2011b)。班公湖-怒江成矿带是西藏重要的铜金矿带之一,成矿类型主要以斑岩型、矽卡岩型铜多金属矿床为主。嘎拉勒矽卡岩型铜金矿床位于该成矿带西段,随着地质勘查与专项研究工作的不断进展,显示出了巨大的找矿潜力,目前探明的金资源量已达到大型规模(张志等, 2011),众多学者对该矿床做了大量基础地质研究工作,积累了含矿岩体的岩石化学、成岩年龄、元素地球化学等方面的成果(帅德权等, 1995; 赵元艺等, 2010; 李志军等, 2011),但由于矿床发现较晚,矿石中矿物组成及有用组分的赋存状态方面研究程度仍较低,尤其是金、银等贵金属赋存状态目前还是空白。本文通过光学显微镜鉴定、扫描电镜观察和 X 射线能谱仪测试分析等手段,对嘎拉勒铜金矿中的金、银的赋存状态进行了系统、详细的研究,填补了这一空白,研究成果对矿石综合利用、矿床进一步开发利用具有重要的意义,同时也为矿床成因、成矿物质来源等研究提供了重要依据。

1 矿床地质

嘎拉勒铜金矿床位于西藏自治区阿里地区革吉县,东距革吉县城 20 km(吕立娜等, 2011a),位于拉萨地块与南羌塘“三江”复合板片缝合带西段,处于狮泉河晚燕山期结合带与冈底斯念青唐古拉板片两大构造单元的交汇处(图 1)。

矿化带位于冈底斯火山岩浆弧的南缘,矿区出露地层隶属措勤-申扎地层分区,所见出露地层由老到新依次为下白垩统则弄群上部朗久组(K_1l)、下白垩统捷嘎组(K_1jg)及第四系。其中,朗久组岩性组合为流纹质-英安质火山碎屑岩、角闪石英粗安岩夹英安质角砾凝灰熔岩,岩石普遍遭受区域变质作用。捷嘎组为一套过渡-稳定型浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩建造,岩性为泥晶灰岩、生物介壳灰岩、白云质大理岩,局部偶夹有少量中细粒石英砂岩,岩层整

体呈近东西向展布,其内发育一些宽缓的褶皱构造。第四系岩性多为含砾粉砂土层,由各类砾石与粉砂土松散堆积而成(何林等, 2010)^①。

矿区构造主要表现为 3 条呈东西向展布的逆冲断裂(F_1 、 F_3 、 F_4 逆冲断裂)和 1 条北东-南西向正断层(F_2 , 倾向北西, 倾角 70°)。此外,矿区发育的褶皱主要为 f_1 背斜,其轴迹位置基本同 F_1 出露位置,北翼产状 $20^\circ \angle 65^\circ$,南翼产状 $190^\circ \angle 57^\circ$,轴面向南倾斜,枢纽近东西(产状约为 $100^\circ \angle 5^\circ$),表现为斜歪平缓倾伏开阔褶皱,在西侧靠近山脊处岩层倾角一般均大于 70° ,轴面劈理较发育(张志等, 2011; 王红星等, 2011)。

矿区燕山晚期中酸性侵入岩发育,均属七一桥岩浆混合岩石系列,岩性分别为灰黑色中细粒石英闪长岩($\delta\delta_3^3$)、灰白色闪长岩(δ)及较晚期灰白色中细粒花岗闪长岩($\gamma\delta_3^3$),另可见少量闪长玢岩和花岗斑岩,其中与矿化关系较为密切的是花岗闪长岩与闪长玢岩。矿区围岩蚀变较为发育,分布广、类型多,以矽卡岩化、白云石化、硅化为主,沿灰黑色石英闪长岩体与岩层的接触界线两侧发育,与大理岩接触部位多形成各类矽卡岩,矽卡岩为该矿床的重要矿化部位(王红星等, 2011)。此外,局部可见少量超基性岩出露。

2 矿床特征

2.1 矿体特征

嘎拉勒铜金矿床共由 11 个矿体组成,矿体呈似层状、透镜状产于闪长岩与碳酸盐岩接触带矽卡岩内和硅质碎裂带中,矿体厚度在 60 ~ 400 m 之间,平均厚度为 142 m,沿走向长度在 4.85 ~ 20.28 m 之间,平均长度 10.65 m。矿体走向主要为近南北向(4 个矿体,分别为 KT_2 、 KT_3 、 KT_4 和 KT_6 矿体)、北西-南东向(3 个矿体,分别为 KT_7 、 KT_8 和 KT_9 矿体)、北东-南西向(2 个矿体,分别为 KT_5 和 KT_{10} 矿体),矿体倾角 $60^\circ \sim 80^\circ$ 之间(张志等, 2011; 王红星等, 2011),矿体走向与接触带的走向基本一致。

① 何林,等. 2010. 西藏自治区革吉县嘎拉勒铜金矿床普查报告. 西藏地质二队.

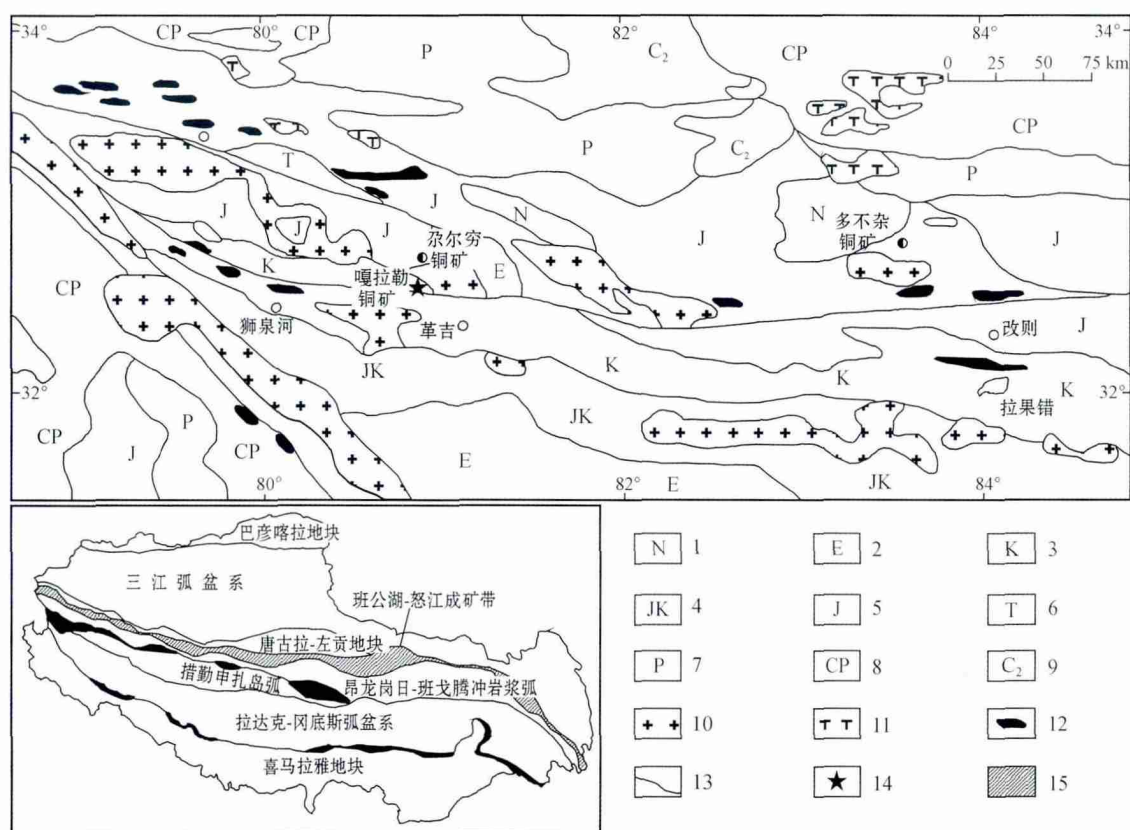


图1 嘎拉勒铜金矿床区域地质图(据杜德道等 2011 修改)

Fig. 1 Regional geological map of the Galale copper gold deposit (modified after Du Dedao et al., 2011)

1—新近系; 2—古近系; 3—白垩系; 4—侏罗系海相碎屑岩夹碳酸岩; 5—侏罗系碎屑岩夹灰岩; 6—三叠系; 7—二叠系砂板岩夹透镜状灰岩; 8—石炭—二叠系含砾灰岩夹砂质砾岩; 9—中石炭统砂质板岩夹灰岩; 10—白垩系花岗岩; 11—侏罗纪花岗岩闪岩; 12—蛇绿混杂岩; 13—地质界线; 14—嘎拉勒铜金矿; 15—班公湖-怒江缝合带

1—Neogene; 2—Paleogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic marine clastic rock intercalated with carbonate rock; 5—Jurassic clastic rocks interbedded with limestone; 6—Triassic; 7—Permian siltstone limestone with shale; 8—Carboniferous-Permian conglomeratic limestone interbedded with sandy conglomerate; 9—Middle Carboniferous sandy slate with limestone; 10—Cretaceous granite; 11—Jurassic granodiorite; 12—ophiolitic mélange; 13—geological boundary; 14—Galale copper-gold deposit; 15—Bangonghu-Nujiang suture belt

矿区内围岩蚀变较为发育, 常见的有白云石化、硅化、绿泥石化、绿帘石化、矽卡岩化、角闪岩化、绢云母化、高岭土化等。矽卡岩化、白云石化、硅化与成矿关系密切。矽卡岩带为最重要的矿化部位, 金矿化主要与透辉石化、褐帘石化有关(王强等 2013)。

2.2 矿石特征

嘎拉勒铜金矿床的矿石结构主要有结晶结构、交代结构、固溶体分离结构及应力结构四大类。结晶结构主要有自形晶结构(图2a)、半自形-它形晶结构(图2b)和共边结构; 交代结构主要有交代残余结构、交代熔蚀结构、充填交代结构(图2c)、假像结构和反应边结构(图2d); 固溶体分离结构主要有乳浊状结构和格状-次格状结构(图2e); 应力结构主要有斑状压碎结构和定向压碎结构(图2f)。

依据其成矿特征, 主要矿石构造包括由热液接触交代作用形成的稀疏浸染状构造、浸染-稠密浸染状构造, 后期充填作用所形成的浸染状构造、细脉-网脉状构造、致密块状构造, 及少量表生风化形成的洞状(蜂窝状)构造、土状或松散状构造。另外可见沉积作用形成的星散浸染状构造。

嘎拉勒铜金矿床的矿石矿物根据矿物组合主要可分为自然金-黄铜矿矿石、磁铁矿矿石、黄铜矿-黄铁矿矿石、黄铜矿-斑铜矿矿石等。矿床中矿石矿物按成分可分为自然元素矿物(自然铋、自然铁、自然铜、自然锑), 金银互化物(自然金、银金矿、金银矿、自然银), 金属互化物(铜锌合金), 金属氧化物(磁铁矿、赤铁矿、针铁矿、纤铁矿), 金属硫化物(黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿、铜蓝、蓝辉铜矿、黄铁矿、磁

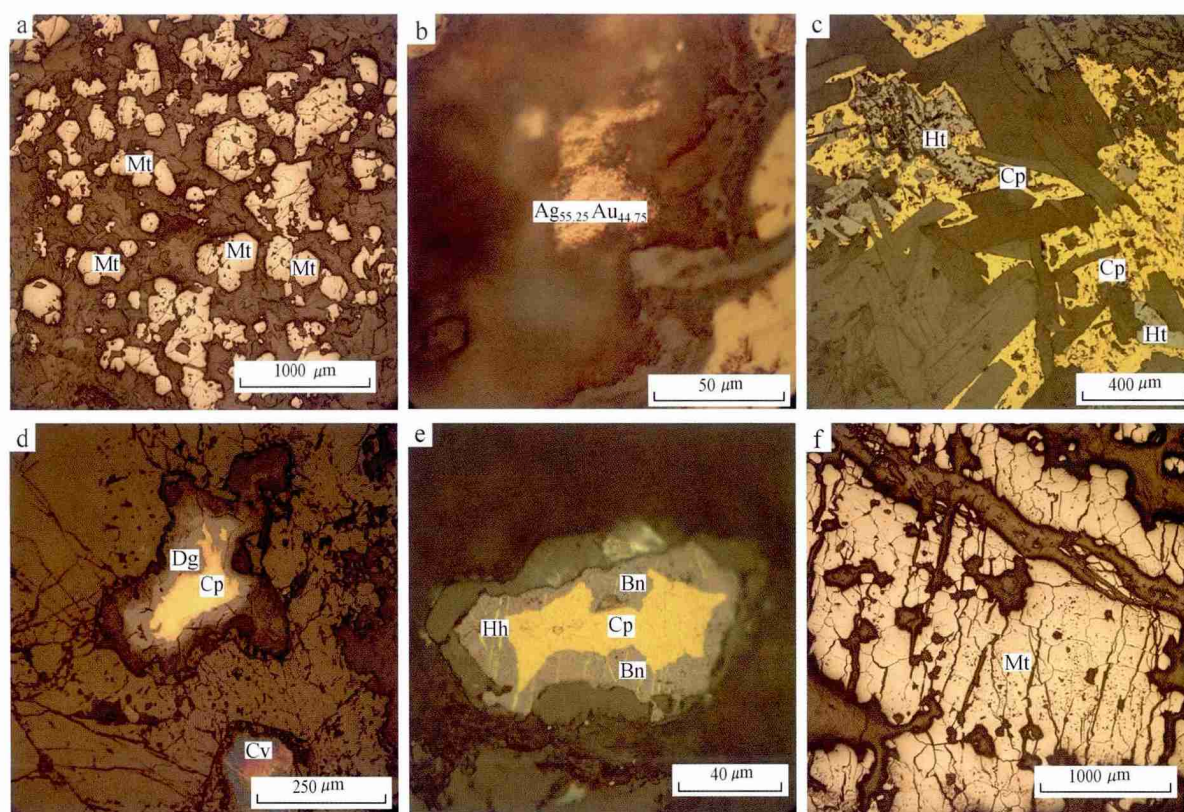


图2 嘎拉勒铜金矿床岩石矿石显微照片(单偏光)

Fig. 2 Microphotographs of metallic minerals and rocks in the Galale copper gold deposit

a—具自形晶结构磁铁矿 (Mt); b—充填于黄铜矿边缘裂隙中的它形金银互化物; c—赤铁矿 (Ht) 充填交代黄铜矿 (Cp); d—黄铜矿 (Cp) 边缘次生蓝辉铜矿 (Dg) 反应边及铜蓝 (Cv); e—黄铜矿 (Cp) 边缘斑铜矿 (Bn) 呈格状固溶体分离结构; f—呈定向压碎结构磁铁矿 (Mt)

a—magnetite (Mt) with euhedral crystal structure; b—Xenomorphic gold-silver compound filling edge cracks of chalcopyrite; c—hematite (Ht) filling metasomatic chalcopyrite (Cp); d—edges of chalcopyrite (Cp) secondary digenite (Dg) reaction rim and covellite (Cv); e—bornite (Bn) in the edges of chalcopyrite (Cp), exhibiting clathrate exsolution structure; f—magnetite (Mt) exhibiting directional crushing structure

黄铁矿、辉锑矿、辉铋矿、辉银矿)等。

3 金、银矿物及载金(银)矿物特征

通过野外地质观察、显微镜光片鉴定、电子探针成分分析、扫描电镜及能谱分析等手段,笔者对嘎拉勒铜金矿床矿石做了系统的研究工作。扫描电镜及能谱分析在成都理工大学四川省矿物学岩石学矿床学重点学科实验室进行,实验仪器为 FEI-Nova NanoSEM 450 场发射扫描电子显微镜和 EDAX 公司 (AX E-650) 电制冷能谱与电子背散射衍射 (EBSD) 一体化系统测试分析,测试条件: 20 kV, 测试温度 21℃, 湿度 35% RH, 分析依据为 SY/T5162-1997 岩石样品扫描电子显微镜分析方法。电子探针成分分

析在成都理工大学地球科学学院电子探针实验室采用日本岛津 EPMA-1720 型电子探针分析仪完成(加速电压 20 kV)(肖渊甫等 2012)。

3.1 金、银矿物特征

根据发现金、银矿物的光薄片矿石特征统计,嘎拉勒铜金矿床金矿物主要以自然金、银金矿、金银矿等金银互化物形式存在,银矿物除以金银系列矿物形式存在,此外还发现有少量辉银矿。按照国内公认的金-银系列矿物划分方法,根据其中金银相对含量的不同,金银互化物可划分为自然金、银金矿、金银矿(帅德权等,1995)。根据扫描电镜和电子探针成分分析数据,嘎拉勒铜金矿床金-银矿物以自然金、银金矿为主,其次为金银矿(表1、图3a~3e)。

据姚敬劬(1982),金矿物按粒度大小可分为可

表1 嘎拉勒铜金矿床金-银互化物电子探针化学成分($w_B/\%$)及晶体化学式Table 1 Chemical compositions ($w_B/\%$) and crystal-chemical formulae based on electron microprobe analyses of gold-silver compound in the Galale copper-gold deposit

样品编号	矿物名称	Se	Fe	Au	Cu	Zn	S	Pb	Bi	Ag	Te	Σ	成色	晶体化学式
G1-10(2)	自然金	-	0.07	31.52	0.01	0.03	0.01	-	0.06	-	0.05	31.74	1 000	Au
	自然金	-	0.11	33.30	-	-	0.01	-	-	0.02	-	33.44	1 000	Au
G1-10(1)	自然金	-	-	56.42	0.05	0.03	-	-	-	0.01	-	56.51	1 000	Au
	自然金	-	0.02	55.96	0.05	0.03	-	0.01	-	0.02	0.01	56.10	1 000	Au
G1-14	银金矿	-	0.04	63.20	0.03	0.00	0.07	-	0.39	32.73	0.06	96.52	510	Au ₅₁ Ag ₄₉
	银金矿	0.02	0.10	63.50	0.05	0.00	0.08	-	0.29	32.69	0.06	96.80	520	Au ₅₂ Ag ₄₈

注: 部分样品粒度太小, 成分总量较低, 仅供参考。

见金($>100\ \mu\text{m}$)、显微金($100\sim0.2\ \mu\text{m}$)、次显微金($0.2\sim0.02\ \mu\text{m}$)。根据扫描电镜(12个)和电子探针数据(6个)统计, 嘎拉勒铜金矿床金矿物以显微金为主, 金矿物的粒度最大可达 $20\ \mu\text{m}$, 粒度最小不足 $1\ \mu\text{m}$, 80%金矿物粒度在 $3\sim8\ \mu\text{m}$ 和 $10\sim20\ \mu\text{m}$ 两个范围内。

自然金分布极不均匀, 局部集中, 主要赋存于矽卡岩中, 多呈金黄色, 均质性, 多呈不规则粒状、麦粒状、角砾状、片状, 最大达 $20\ \mu\text{m}$, 大部分为不可见的显微金, 硬度低, 表面可见擦痕及凹坑(图3f)。金银互化物主要呈不规则它形粒状角粒状, 多数粒度小于 $5\ \mu\text{m}$ 。

3.2 载金(银)矿物特征

通过镜下观察, 查明矿床中主要载金矿物为石英、碳酸盐岩、金属氧化物、硫化物及自然铋等, 少量分布于粘土矿物中。

3.2.1 脉石矿物

碳酸盐岩矿物及石英为嘎拉勒铜金矿床中主要的载金矿物。碳酸盐岩主要为白云石及方解石, 在矿石中多呈半自形-他形粒状、他形粒状集合体、细脉状、充填状。金银互化物呈不规则粒状或包裹于颗粒内部, 或赋存于其裂隙间, 以包裹体金为主; 石英颗粒表面较平整, 且边界清楚, 多呈它形粒状、粒状集合体, 金矿物常呈不规则粒状被其包裹。

3.2.2 金属氧化物及硫化物

根据现阶段的岩石矿石研究成果分析, 载金矿物中, 金属硫化物主要为黄铜矿、氧化物为磁铁矿。磁铁矿常见自形-半自形、它形粒状切面, 单个矿物的粒度在 $0.4\ \text{mm}$ 左右, 多呈集合体出现, 集合体呈粒状或块状, 部分可见压碎, 部分磁铁矿为黄铜矿所交代, 形成破布状、港湾状的残余结构。黄铜矿切面形态多呈半自形-它形粒状或不规则脉状, 多与磁铁矿紧密共生, 形成共边结构, 可见黄铜矿颗粒被磁

矿环绕或充填于磁铁矿裂隙中, 显示黄铜矿较磁铁矿形成晚。此外, 黄铁矿边缘常伴生有次生蓝辉铜矿、铜蓝等, 具次生反应边结构。金银矿物多分布在这些矿物颗粒间及其边缘裂隙中。

3.2.3 自然铋

三方晶系, 它形晶为主, 与磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿及其次生铜蓝、蓝辉铜矿等共生。切面形态多为片状、角粒状、絮状, 非均性明显, 反光镜下呈亮白色, 反射率较高。扫描电镜分析显示自然铋的成分比较纯净, Bi的质量分数最高达98.29%, 多分布在矿化矽卡岩中。金银矿物主要呈吸附状存在于自然铋表面。

3.2.4 粘土矿物及次生铁的氧化物

嘎拉勒铜金矿床放射性自然银矿物主要呈包裹体银的形态嵌布于次生铁的氧化物及粘土矿物中, 其呈点状密集分布于氧化铁的次生氧化物中。粘土矿物主要为绢云母、高岭石、蒙脱石等, 显微镜下绢云母多呈细小鳞片状、细小鳞片状集合体, 高岭石及蒙脱石等呈隐晶质集合体(龚婷婷等, 2013)。

3.3 金银赋存状态

3.3.1 金的赋存状态

金矿物主要以自然金及银金矿的形式存在, 多为粒度在 $20\ \mu\text{m}$ 以内的显微金, 赋存状态以裂隙金或粒间金的形式为主, 包裹金相对较少。

(1) 粒间金: 金矿物分布于透辉石、石英、白云石、黄铜矿等同类和不同类矿物晶隙和矿物溶蚀孔洞边缘, 多呈不规则粒状、长角砾状及麦粒状(图2b)。

(2) 裂隙金: 主要表现为金矿物颗粒充填于非金属或金属矿物裂隙和晶隙中, 主要出现在石英、黄铜矿、磁铁矿裂隙中, 呈短脉状、角砾状、板片状及扁豆状分布, 形态受所处裂隙空间控制(图3e)。

(3) 包裹金: 金矿物呈大小不等的不规则粒状包

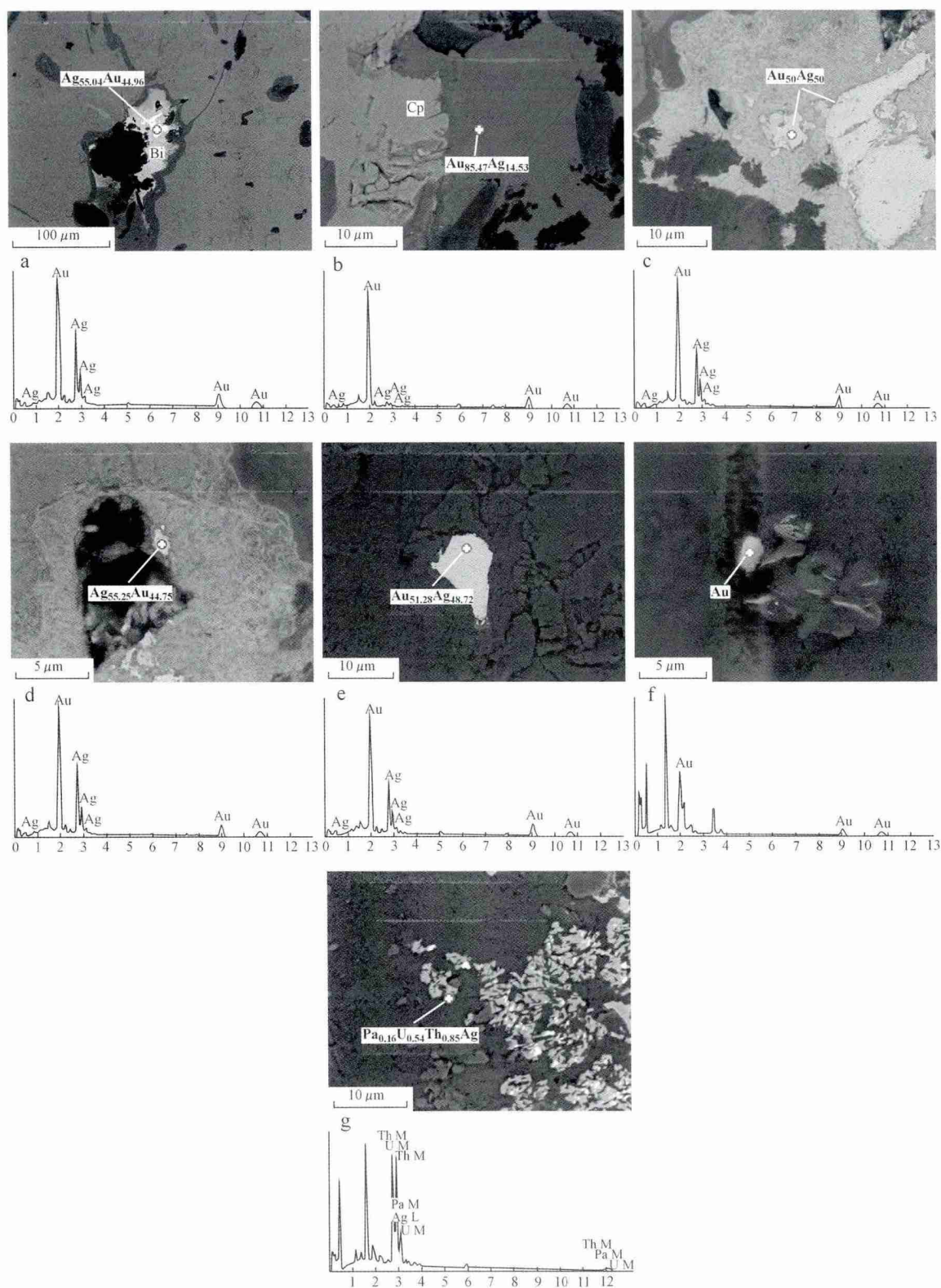


图3 嘎拉勒铜金矿床金-银互化物扫描电镜背散射图像与能谱分析谱线图

Fig. 3 Atomic percentage based on BSE energy spectrum analysis of gold-silver compound in the Galale copper-gold deposit
a—自然铋中的银金矿包裹体; b—它形粒状银金矿; c—自然铋中呈它形粒状银金矿包裹体; d—它形粒状银金矿; e—呈它粒状充填于脉石矿物粒间的银金矿; f—呈吸附状态存在与其它矿物表面的自然金; g—含放射性元素自然银呈吸附状态存在于其它矿物表面
a—electrum inclusion in native bismuth; b—xenomorphic granular electrum; c—xenomorphic granular electrum in native bismuth; d—xenomorphic granular electrum; e—xenomorphic granular electrum filling gangue mineral particles; f—native gold existent in adsorption state at the surface of another mineral; g—native silver containing radioactive elements in adsorption state at the surface of another mineral

裹于其他矿物中,包裹金一般为金的独立矿物。在本矿床见一粒自然金,粒度在 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 呈麦粒状被包裹于自然铋中,推断金矿物与自然铋为同一热液期产物,自然金晶出早于自然铋(图 3a)。

3.3.2 银的赋存状态

嘎拉勒矿床中,银主要以独立矿物形式存在。银矿物的嵌布特征有包裹体银、裂隙银、粒间银及连生银四种,其赋存在脉石矿物及硫化物中,包裹在方铅矿中或金属矿物裂隙中。主要呈它形不规则粒状,粒度很小($<10 \mu\text{m}$),反射色呈亮白色。经扫描电镜能谱成分分析发现,银矿物普遍含放射性元素:镭、钍、铀等(图 3g),嘎拉勒铜金矿床放射性自然银矿物主要呈包裹体银的形态嵌布于次生铁的氧化物及粘土矿物中,另少量该类型矿物与辉银矿相似呈裂隙银的形态分布于脉石矿物中(Kuiren and Jian, 2000; 孙燕等 2008 2009; 肖渊甫等 2010)。

4 结论

(1) 嘎拉勒铜金矿床金矿物主要以自然金及银金矿的形式存在,多为粒度在 $20 \mu\text{m}$ 以内的显微金,可见粒间金、裂隙金及相对较少的包裹金,赋存方式简单,易于提取。银矿物主要呈独立矿物形式存在,粒度一般在 $10 \mu\text{m}$ 内,大多数颗粒粒度集中在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 。

(2) 嘎拉勒铜金矿床金矿物主要呈显微金与白云石、方解石、石英、金属氧化物、硫化物及自然铋等紧密共生,其中,载金矿物金属硫化物黄铜矿及氧化物磁铁矿的矿石构造为稀疏浸染状构造、不均匀斑点状构造。此外,嘎拉勒矿床的银矿物普遍含放射性元素镭、钍、铀,放射性自然银矿物呈包裹体银的形态嵌布于次生铁的氧化物及粘土矿物中。金矿物以金银互化物等独立矿物为主,成色普遍相对较高,表明该矿床中金的成矿温度相对较高,成矿时间较长。另外,放射性银矿物国内尚未有相关研究成果发表,有待进一步研究。

致谢 参加野外采样工作的还有研究生张志、王红星等,镜下鉴定工作中帅德权老师给予了悉心帮助和指导,扫描电镜能谱、电子探针测试分析在任科法、余少雄两位老师的帮助和指导下完成,文章撰写过程中龚婷婷、何佳乐给予了很多帮助,在此一并表示感谢!

References

- Du Dedao, Qu Xiaoming, Wang Genhou, *et al.* 2011. Bidirectional subduction of the Middle Tethys oceanic basin in the west, segment of Bangonghu-Nujiang suture, Tibet: Evidence from Zircon U-Pb LA-ICPMS dating and petrogeochemistry of arc granites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 1993 ~ 2002(in Chinese).
- Gong Tingting, Xiao Yuanfu, Ren Kefa, *et al.* 2013. The Research of Gold-Silver Characteristics and Occurrence State of Ga'erqiong copper deposit, Tibet [J]. *Jouranal of Chengou University of Technology (Science&Technology Edition)*, 40(2): 139 ~ 146(in Chinese).
- Kuiren W and Jian H. 2000. Mineralogy and occurrence of gold in the Larima Carlin-type deposit, Sichuan, China[J]. *Chronique de la Recherche Minière*, 538: 17 ~ 23.
- Li Zhijun, Tang Juxing, Yao Xiaofeng, *et al.* 2011. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Ga'erqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. *Chengdu University of Technology (Natural Science)*, 38(6): 678 ~ 683(in Chinese).
- Lü Lina, Cui Yubin, Song Liang, *et al.* 2011a. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galale skarn gold(copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(5): 224 ~ 242(in Chinese with English abstract).
- Lü Lina, Zhao Yuanyi, Song Liang, *et al.* 2011b. Characteristics of C, Si, O, S and Pb isotopes of the Fe-rich and Cu(Au) deposit in the western Bangong-Nujiang metallogenic belt, Tibet, and their geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 85(8): 1291 ~ 1304(in Chinese).
- Shuai Dequan, Zhang Xingrun, Hu Shihua, *et al.* 1995. Au-Ag Ore Petrology [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 44 ~ 190(in Chinese).
- Sun Yan, Wen Chunqi, Duo Ji, *et al.* 2008. Occurrence of Au-Ag compounds in the Mayoumu gold deposit, Tibet[J]. *Geological and Exploration*, 44(5): 42 ~ 46(in Chinese).
- Sun Yan, Xiao Yuanfu, Feng Wei, *et al.* 2009. Ore mineral characteristics of the Xiangshan copper-nickel sulfide deposit in East Tianshan Mountains and their metallogenic significance[J]. *Geology in China*, 36(4): 871 ~ 877(in Chinese).
- Wang Hongxing, He Lin, Li Zhijun, *et al.* 2011. The geological characteristics and significance of Galale copper-gold deposit in Gegya county, Tibet[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, S1: 847 ~ 848(in Chinese).
- Wang Qiang, Sun Yan, Li Zhijun, *et al.* 2013. Rare bismuth minerals in the Galale copper and gold deposit of the Bangong Co-Nujiang metal-

- logenic belt[J]. Bulletin of Mineralogy and Geochemistry, 32(3): 348 ~ 349(in Chinese) .
- Xiao Yuanfu, Sun Yan, Xiong Fahui, *et al.* 2010. Gold and silver occurrence and its genesis in the Mozigou gold deposit, Danba area, western Sichuan, China [J]. Geological Bulletin of China, 29(7): 1031 ~ 1038(in Chinese) .
- Xiao Yuanfu, Wang Qiang, Li Zhijun, *et al.* 2012. Discovery of bismuth mineral of Gaerqiong copper-gold ore deposit in Tibet and its significance[J]. Acta Geologica Sinica, 86(7): 1106 ~ 1112(in Chinese) .
- Yao Jingqu. 1982. About colloidal gold[J]. Geology and Prospecting, 8: 30 ~ 33(in Chinese) .
- Zhang Zhi, Tang Juxing, He Lin, *et al.* 2011. The Research of petrochemical characteristics' comparison of the ore-forming mother rock of copper gold deposit in Bangonghu-nuijiang metallogenic belt Gaerqiong, Galale copper-gold deposit, Tibet [J]. Acta Mineralogica Sinica, 31: 669 ~ 670(in Chinese) .
- Zhao Yuanyi, Liu Yan, Wang Ruijiang, *et al.* 2010. The Discovery of the Bismuth mineralization belt in the Bangong Co-Nuijiang metallogenic belt of Tibet and its adjacent areas and its geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(2): 183 ~ 189(in Chinese) .
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 等. 2011a. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224 ~ 242.
- 吕立娜, 赵元艺, 宋亮, 等. 2011b. 西藏班公湖-怒江成矿带西段富铁矿与铜(金)矿 C、Si、O、S 和 Pb 同位素特征及地质意义[J]. 地质学报, 85(8): 1291 ~ 1303.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 2011. 藏北阿里地区新发现的尕尔穷铜金多金属矿床地质特征及其找矿前景[J]. 矿床地质, 30(6): 1149 ~ 1153.
- 帅德权, 张兴润, 胡世华, 等. 1995. 金银矿石学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1 ~ 220.
- 孙燕, 温春齐, 多吉, 等. 2008. 西藏马攸木金矿床金银互化物的赋存状态[J]. 地质与勘探, 44(5): 42 ~ 46.
- 孙燕, 肖渊甫, 冯伟, 等. 2009. 东天山香山铜镍硫化物矿床矿物特征及成矿意义[J]. 中国地质, 36(4): 871 ~ 877.
- 王红星, 何林, 李志军, 等. 2011. 西藏革吉县嘎拉勒铜金矿床地质特征及其意义[J]. 矿物学报, 31: 847 ~ 848.
- 王强, 孙燕, 李志军, 等. 2013. 班公湖-怒江成矿带嘎拉勒铜金矿床发现罕见铋矿物[J]. 矿物岩石地球化学通报, 32(3): 348 ~ 349.
- 肖渊甫, 孙燕, 熊发挥, 等. 2010. 川西丹巴地区磨子沟金矿床金、银赋存状态及成因[J]. 地质通报, 29(7): 1031 ~ 1038.
- 肖渊甫, 王强, 李志军, 等. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床铋矿物的发现及意义[J]. 地质学报, 86(7): 1106 ~ 1112.
- 姚敬勋. 1982. 关于胶体分散金[J]. 地质与勘探, 8: 30 ~ 33.
- 张志, 唐菊兴, 何林, 等. 2011. 西藏班公湖-怒江成矿带及邻区铋矿化带的发现与意义[J]. 地球科学, 31(2): 183 ~ 191.
- 杜德道, 曲晓明, 王根厚, 等. 2011. 西藏班公湖-怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U-Pb 年龄和元素地球化学的证据[J]. 岩石学报, 27(7): 1993 ~ 2002.
- 龚婷婷, 肖渊甫, 任科法, 等. 2013. 西藏尕尔穷铜矿床金银矿物特征及赋存状态[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 40(2): 139 ~ 146.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 等. 2011a. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)

附中文参考文献