

文章编号: 0258-7106(2014)03-0558-17

新疆包古图地区金矿床矿化类型和与围岩关系研究*

郑波^{1,2} 朱永峰^{1**} 安芳³

(1 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2 中国人民武装警察部队黄金第八支队, 新疆 乌鲁木齐 830057; 3 大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质系, 陕西 西安 710069)

摘要 西准噶尔包古图地区是新疆北部重要的金铜产地, 已发现中型金矿床1处, 金矿点20余处, 大型斑岩铜(金、钼)矿床1处。金矿床按矿化类型可分为石英脉-蚀变岩型、蚀变岩型、辉锑矿-石英脉型、富硫化物型以及产于斑岩型铜矿中的伴生金。石英脉-蚀变岩型是最主要的矿石类型, 构成包古图地区最主要的经济矿体。蚀变岩型是包古图地区近年来发现的新矿化类型, 矿体由就位于NW向断裂中的蚀变凝灰质细砂岩和蚀变凝灰岩组成。辉锑矿-石英脉型矿石中含自然砷、自然锑、Paakkonenite、方锑金矿和硫锑金银矿等罕见矿物, 这些矿物都与金矿化直接相关。富硫化物型矿石中, 自然铋和辉铋矿与金矿化紧密相关。这些金矿化在空间上与中酸性岩体和岩体附近的岩脉关系紧密, 成因上金矿化与岩体密切相关, 而与岩脉关系不大。成矿元素在岩体中含量最高, 其次为岩体附近的火山碎屑沉积岩, 同一区域内岩脉的成矿元素含量最低, 离岩体越远, 成矿元素含量越低。Au与As、Sb、Bi之间具有不同程度的正相关性, As、Sb、Bi异常是该区找金的重要化探标志。中酸性岩体是最重要的找矿标志, 岩体附近的断裂系统是金矿最有利的就位空间。

关键词 地质学, 矿化类型, 岩体, 金矿, 包古图, 西准噶尔, 新疆

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Study of gold mineralization types in relation to host rocks in gold deposits of Baogutu area, Xinjiang

ZHENG Bo^{1,2}, ZHU YongFeng¹ and AN Fang³

(1 Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education, School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China; 2 No. 8 Gold Geological Party of CAPF, Urumqi 830057, Xinjiang, China; 3 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract

A middle-size gold deposit, over 20 gold ore spots and a large-size porphyry copper (gold and molybdenum) deposit were found in Baogutu area, North Xinjiang. Quartz vein-altered rock type, altered rock type, stibnite-quartz vein type, sulfide-rich type and accessory gold in porphyry deposit could be identified based on the mineralization characteristics. The quartz vein-altered rock type is the main ore type, which constitutes the main economic orebodies in Baogutu area. The newly found altered rock types are composed of altered tuffaceous sandstone and altered tuff that were emplaced in the NW-striking faults near the granodiorite stock. Stibnite-quartz vein type is characterized by gold mineralization-related native arsenic, native antimony, Paakkonenite and aurostibite. Native bismuth was found in sulfide-rich type ore, which is closely associated with gold mineralization.

* 本研究得到国家自然科学基金和国家国际科技合作项目(编号: 41203032; 41372062; 2010DFB23390)的资助

第一作者简介 郑波, 男, 1986年生, 硕士研究生, 地球化学专业。Email: cambrianzb@sina.cn

** 通讯作者 朱永峰, 男, 1965年生, 教授, 博士生导师, 地球化学专业。Email: yfzhu@pku.edu.cn

收稿日期 2014-01-13; 改回日期 2014-04-19。秦思婷编辑。

These gold deposits are spatially associated with intermediate to acid stocks and dikes, but are genetically only related to stocks. Ore-forming elements are mostly concentrated in intermediate-acid stock, subordinately in pyroclastic sedimentary strata adjacent to the stock, and are lowest in content in intermediate-acid dikes in the same sampling area. There is an obvious negative correlation between the content of ore-forming elements and the distance from the intrusive body. Au is in positive correlation with As, Sb, Bi to different extents; As, Sb, Bi anomalies, especially As anomalies, are important for gold exploration in Baogutu area. The intermediate-acid stocks seem to be the most probable source of ore-forming elements, and the fracture system around the stocks is the best ore-controlling structure.

Key words: geology, mineralization type, stock, gold deposit, Baogutu, West Junggar, Xinjiang

西准噶尔包古图地区已发现中型金矿床 1 个(阔个沙也金矿床),金矿(化)点 20 余个。近年来,包古图 V 号岩体斑岩铜(金、钼)矿床的勘探已取得重大突破(张锐等,2006),包古图 I 号岩体外围乃比克金矿床的勘探工作也有重要进展,圈出了多条金矿脉(祁小芮,2012)。勘探工作的不断突破、从斑岩型到热液脉型的金成矿系列引起了学者们的关注,他们对包古图地区斑岩铜金矿和热液脉型金矿的地质地球化学特征方面做了大量的研究(齐进英等,1992;汪莉娟等,2006;宋会侠等,2007;刘玉琳等,2009;张志欣等,2010;Shen et al.,2010)。近年来,随着勘探和研究工作的深入,人们对这一地区的成矿作用有了新的认识。包古图乃比克金矿床从矿床类型和控矿构造上显著区别于区内最大的阔个沙也金矿床,矿体由蚀变岩组成,赋存在 NW(W)向断裂带中,是一种新的矿化类型。在包古图地区相继发现了自然铋(郑波等,2009)、自然砷(安芳等,2009a;郑波等,2013)、自然铋(An et al.,2010)、方锑金矿和 Paakkonenit(郑波等,2013)等与金矿化紧密相关的罕见矿物,其矿化类型亦显著区别于包古图地区常见的与黄铁矿和毒砂紧密相关的石英脉-蚀变岩型。在前人工作的基础上,本文厘定了包古图地区金矿床的矿化类型,以及金矿化与各地质体之间的关系,并指出了下一步的找矿方向。

1 区域地质

新疆西准噶尔地区(图 1A)是中亚成矿域的重要组成部分,由早古生代—晚古生代早期蛇绿混杂岩及与之相关的复理石建造、晚古生代火山-沉积岩和侵入这两者的晚石炭世—早二叠世花岗质岩石 3 个单元组成(图 1B)(Zhu et al.,2013)。早古生代蛇绿混杂岩呈 NE 向或 EW 向,沿区内断裂带分布,代

表寒武纪—奥陶纪大洋闭合的产物,被晚古生代砂岩和火山碎屑岩覆盖;晚古生代泥盆系和石炭系广泛出露,泥盆系砾岩、砂岩和粉砂岩主要分布在西准噶尔西北及北部地区,石炭系火山-陆源碎屑建造分布在西准噶尔南部地区,是区内金铜矿床的直接赋矿围岩(朱永峰等,2013)。大量晚石炭世—早二叠世花岗质岩石侵入到这套石炭系地层之中,如庙儿沟岩体、阿克巴斯套岩体等,侵位时代为 290~310 Ma(韩宝福等,2006)。

西准噶尔南部地区有 2 个重要的成矿带,以 NE 向达拉布特断裂为界。达拉布特断裂 NW 侧为哈图-萨尔托海铬成矿带,哈图金矿床是西准噶尔开采规模最大(>50 t)的金矿床,赋存于下石炭统火山碎屑岩地层中,矿体为石英脉型和蚀变岩型,其中,石英脉型矿体主要分布于矿区浅部,蚀变岩型矿体主要分布于深部,主要载金矿物为黄铁矿、毒砂和石英(安芳等,2007)。萨尔托海铬铁矿床位于达拉布特蛇绿岩带中,是典型的与蛇绿岩有关的豆荚状铬铁矿床,铬尖晶石矿石呈透镜状产出在方辉橄榄岩和纯橄岩中(谭娟娟等,2010)。达拉布特断裂 SE 侧为包古图金铜成矿带,包古图金矿床(阔个沙也金矿床)赋存在下石炭统火山碎屑沉积岩中,矿体为石英脉型、石英网脉型+蚀变岩型,黄铁矿和毒砂是最主要的载金矿物(齐进英等,1992;刘秉光等,1992)。包古图斑岩铜矿床是近年来西准噶尔找矿工作的重大突破,矿体位于中酸性岩体内部及围岩接触带上,矿化为细脉浸染状的黄铜矿化,并伴生金、银、钼等,已达大型规模(张锐等,2006)。

2 包古图地区地质概况

包古图地区下石炭统火山-沉积地层出露完整,分别为太勒古拉组、包古图组和希贝库拉斯组(图 1C),

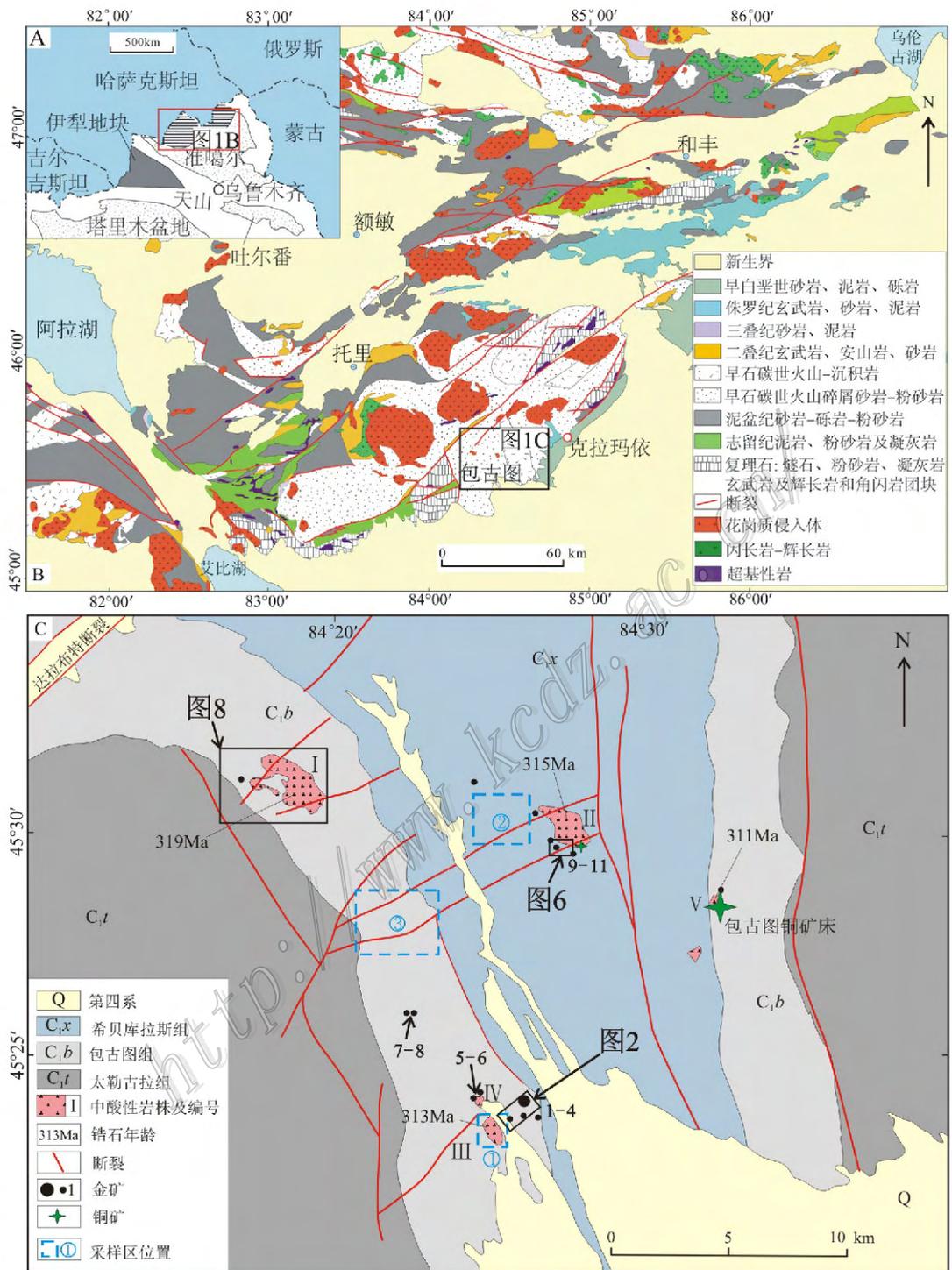


图 1 西准噶尔地区位置图(A)、西准噶尔地质图(B)(据 Zhu et al., 2013)和包古图金铜矿区地质简图(C)
(据新疆地质局区域地质测量大队 1964~1965 年 1:200 000 地质图修改; 年代学数据据刘玉琳等, 2009;
申萍等, 2010; 魏少妮等, 2011)

Fig. 1 Location of Western Junggar(A), geological map of Western Junggar(B)(after Zhu et al., 2013) and geological map of the Baogutu Au-Cu ore district(C)(modified after 1:200 000 Geological Map by Xinjiang Bureau of Geology, 1964~1965; chronologic data after Liu et al., 2009; Shen et al., 2010; Wei et al., 2011)

图 2)。太勒古拉组为海底火山-硅质岩建造,包括中基性火山熔岩、硅质岩和凝灰岩,硅质岩中含放射虫化石;包古图组由薄层凝灰质粉砂岩和凝灰岩互层组成,含浊流和滑塌堆积的灰岩、泥灰岩和生物碎屑灰岩透镜体及含砾粉砂岩;希贝库拉斯组底部为一套成分复杂的砂质砾岩,其上为青灰色含角砾的凝灰质砂岩,局部夹薄层安山岩和凝灰岩,地层中的火山岩锆石 U-Pb 年龄介于 328~357 Ma(安芳等, 2009b;郭丽爽等, 2010)。从希贝库拉斯组到太勒古拉组表现出,沉积物逐渐变细、硅质和火山物质逐渐增多的特征。这套地层受后期构造挤压,区域上形成轴部略向 ES 倾的希贝库拉斯向斜,地层产状发生强烈的变化,希贝库拉斯组与包古图组之间为断层接触。侵入地层中的细晶闪长岩脉被由 SW 向 NE 推覆的逆断层错断,可能与附近的达拉布特断裂的活动有关。包古图地区发育 NS 向、NE 向和 NW 向断裂(图 1C)。NS 向断裂最早形成,断裂带宽百米左右,延伸数公里,具张性特征;NE 向规模较大的断裂切割小岩体,且通常具有弱金矿化和较强褐铁矿化,断裂带宽几米至十几米,具挤压特征,其次一级的 NE 向、近 EW 向断裂则通常为含矿构造;NW 向断裂形成最晚,近年来在 I 号岩体西侧(图 1C)的勘探工作显示,一些较小规模的 NW 向压性断裂含金性较好。

花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩岩体和闪长玢岩脉侵入到下石炭统地层之中(图 1C),岩体按地表自然出露大小顺序编号(如包古图 I 至 V 号岩体),锆石年龄为 310~319 Ma(唐功建等, 2009;刘玉琳等, 2009;申萍等, 2010;魏少妮等, 2011)。这些岩体多具铜金矿化,且与区内的金矿床(点)在空间上有紧密关系(图 1C,图 2),包古图斑岩型铜金矿床即发育在 V 号岩体内部及接触带围岩中(张锐等, 2006), III 号岩体也普遍具铜金矿化,金矿点主要分布于中酸性岩体周围。

3 矿化类型

包古图地区矿化最集中的是南部的 1~4 号矿区,即阔个沙也金矿床,其中,又以 2 号和 4 号矿区的规模最大(图 2),也是目前最主要的开采对象。包古图地区金矿床的矿石类型一直被认为是以石英脉型为主,少量蚀变岩型,但在坑道探采揭露的矿体中,蚀变岩型矿石在矿体中可达一半以上,矿体主要

由破碎蚀变岩、破碎石英脉和石英透镜体组成(图 3A、B)完全由石英脉组成的矿体较少见,在局部和 6 号矿区出现。新发现的乃比克金矿床的矿体几乎全部由蚀变的凝灰质粉砂岩和凝灰岩组成。此外, A 矿区 L7 号脉的矿化特征也明显不同,矿化以辉锑矿为主,并伴有罕见的自然砷、自然锑等;11 矿区 L1 号脉中毒砂、黄铁矿和黄铜矿占较大的比例,地表氧化矿石主要由黄钾铁矾和臭葱石组成,并伴有自然铋产出。

3.1 石英脉-蚀变岩型

石英脉-蚀变岩型矿石是包古图金矿床中最常见的矿石类型,构成其主要的经济矿体,除后文将介绍的几种特殊类型的金矿化和 V 号岩体斑岩型铜矿床中的伴生金外,包古图地区绝大部分的金矿脉均属此类,已有的研究也多是针对这一类矿化类型。矿体由石英脉、石英网脉以及在石英脉两侧或夹在石英脉中的蚀变岩组成(图 3A、B)。金矿脉大体平行分布,成群出现,长度多介于 50~200 m,宽度 1 m 左右,走向 NE 向。其中,规模最大的是 2 号矿区的 L2 号脉,地表出露 520 m,地表以下向两端有延伸,地表矿体破碎带宽 1.2 m,产状 $328^{\circ} \angle 70 \sim 85^{\circ}$,呈不规则脉状、细网脉状,平均品位 5.55×10^{-6} 。除地表出露的矿脉外,钻探和坑探揭示地表以下见多条隐伏矿脉(图 2B、C)。

矿石呈角砾状、细脉-网脉状、梳状、块状和似条带状构造。其中,角砾状构造最常见,由矿液沿断裂破碎带运移和沉淀,包围围岩角砾而成,一般角砾含量较高且几乎完全被热液交代部位的金品位亦高。细脉-网脉状构造为石英、碳酸盐以及部分黄铁矿沿微细裂隙充填而成,网脉状多出现在矿脉边部与围岩的接触带上。梳状构造由石英晶体垂直脉壁生长形成,当石英围绕角砾生长时,首先形成由微细晶组成的壳层,然后较粗的石英晶体垂直角砾生长,形成以角砾为核心的同心环状。块状构造表现为较粗的含金石英脉和蚀变岩矿石。似条带状构造中的黄铁矿、毒砂形成较早,沿脉壁分布,辉锑矿、辉铁锑矿形成较晚,位于脉的中部,形成似条带状,但相对较少。矿石矿物主要为黄铁矿和毒砂,次为辉锑矿,少量白铁矿、辉锑铁矿、硫锑铁矿、黝铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿和闪锌矿,局部含微量脆硫锑铜矿、硫砷铜矿、自然锑等,含金矿物主要为银金矿,少量自然金和方锑金矿。

自然金及银金矿呈孤立的粒状出现在石英粒间,有时成群和呈微细脉出现。金粒外围的石英常呈

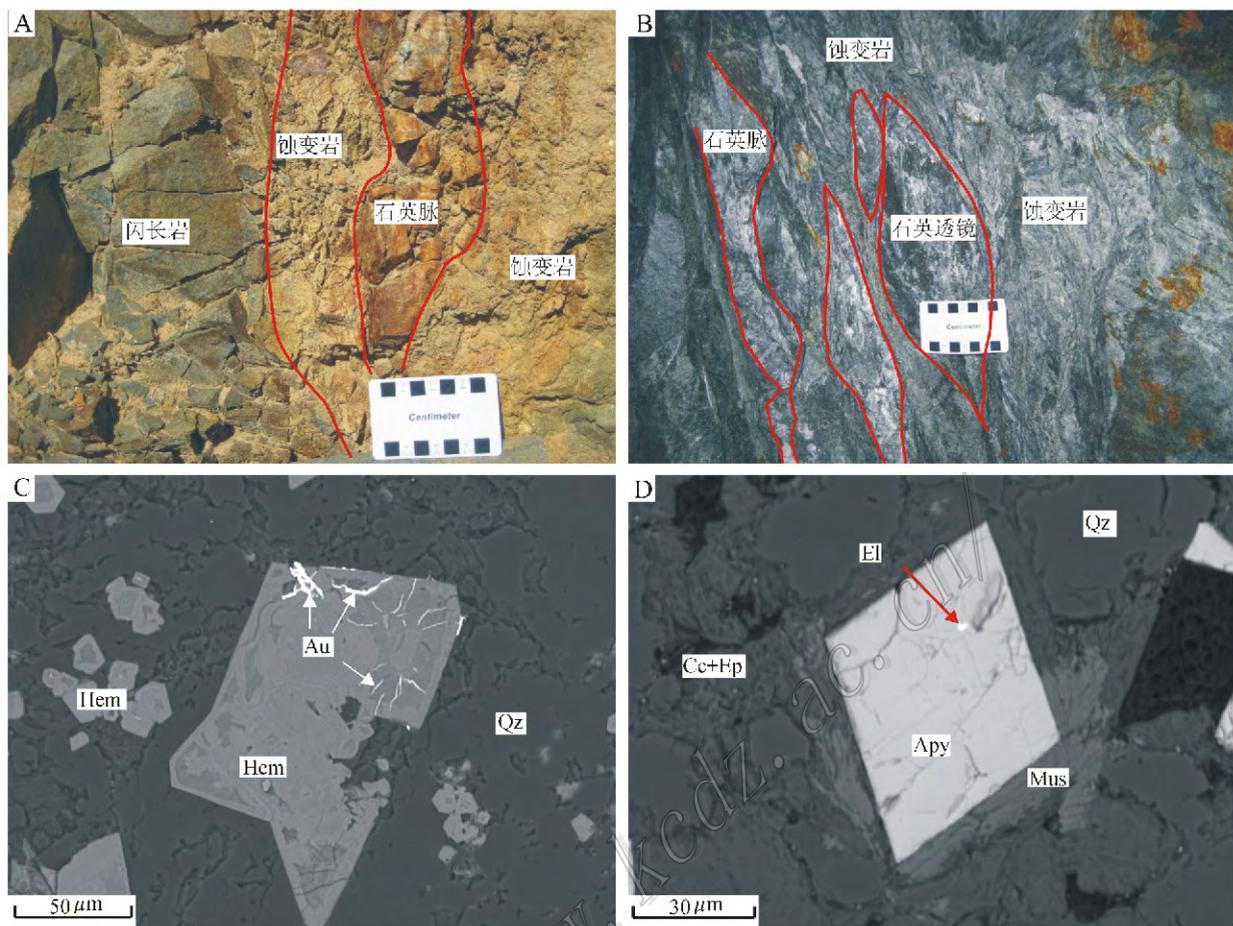


图3 石英脉-蚀变岩型矿石

A. 4号矿区L2号脉地表露头,矿脉由石英脉和石英脉两侧的破碎蚀变岩组成; B. 2号矿区L2号脉4中段坑道中矿脉,矿脉由破碎石英脉、石英透镜体和破碎蚀变岩组成; C. 黄铁矿完全氧化形成赤铁矿,赤铁矿(黄铁矿)含自然金,BSE; D. 毒砂中包裹微细粒银金矿,BSE
Hem—赤铁矿; Au—自然金; El—银金矿; Apy—毒砂; Qz—石英; Mus—白云母; Cc—方解石; Ep—绿帘石

Fig. 3 Quartz vein - altered rock type ore

A. Outcrop of L2 vein in No. 4 ore block, the ore composed of quartz vein and crushed altered rock; B. Gold vein in tunnel at mid-4 of L2 vein in No. 2 ore block, the ore composed of broken quartz vein, lenticular quartz and crushed altered rock; C. Pyrite completely replaced by hematite, native gold contained in hematite, BSE; D. Micro- and fine-grained electrum in arsenopyrite, BSE

Hem Hematite; Au Native gold; El Electrum; Apy Arsenopyrite; Qz Quartz; Mus Muscovite; Cc Calcite; Ep Epidote

有变厚的趋势(0.3~1.0 m),并且矿化类型发生明显变化,矿体由矿脉中部的辉锑矿-石英脉型矿石和两侧的蚀变岩型矿石组成,辉锑矿-石英脉通常厚20~40 cm。辉锑矿与石英分布不均匀,辉锑矿在局部地段含量高达60%(图4B)。

矿石构造主要包括细(网)脉状、角砾状、梳状、环带状(或条带状)、晶洞状等。L7号脉矿化以辉锑矿为主,次为自然砷、自然锑、方锑金矿、Paakkonenite和硫锑金银矿(表1),这些也是主要的载金矿物,而其他矿脉中的载金矿物(如黄铁矿和毒砂)在L7号脉中则主要出现在石英脉两侧的围岩中,而且是金

矿化期之前的产物(郑波等,2013)。

L7号脉中含金矿物主要为银金矿,次为自然金、方锑金矿。银金矿主要包裹于辉锑矿和自然砷的内部,或与细粒石英共生(图4C,图5);自然金与辉锑矿伴生;方锑金矿微粒被包裹于自然砷的内部(图4F)。自然砷是L7号脉浅部最主要的载金矿物,含量仅次于石英(图4A、C),与主成矿期形成的细粒石英共生。在矿脉深部,自然砷含量明显减少,主要以交代辉锑矿或与辉锑矿共生的形式出现,自然砷内部通常可见交代残余的辉锑矿(图4E),部分自然砷中含银金矿。矿脉深部含自然锑(图4D、

表 1 包古图金矿区特殊矿物电子探针数据
Table 1 EPMA data of special minerals in the Baogutu ore district

矿区及矿物	$w(B)\%$									总和	点数	
	Fe	As	S	Bi	Cu	Ag	Zn	Sb	Au			
4号矿区												
自然砷	0.01	98.67	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.97	0.03	99.79	26	
自然铋	0.02	2.41	0.09	0.01	0.03	0.04	0.02	96.70	0.19	99.51	14	
方铋金矿	0.02	0.86	0.03	0.41	0.02	0.03	b.l.	53.23	44.20	98.80	11	
Paakkonenite	0.01	20.23	16.75	0.01	0.01	0.01	0.01	61.93	0.06	99.02	25	
硫铋金银矿	0.01	0.84	14.56	0.19	0.01	16.19	0.01	46.63	21.52	99.96	23	
辉铋矿	0.04	1.45	28.18	0.01	0.01	0.02	0.02	69.54	0.16	99.43	23	
银金矿	0.01	0.13	0.20	0.67	0.09	22.24	b.l.	0.23	76.19	99.76	19	
自然金	0.13	0.04	0.11	0.82	0.09	0.59	b.l.	0.15	99.51	101.44	5	
11号矿区												
自然铋	0.53	0.11	0.09	99.37	b.l.	0.04	b.l.	b.l.	0.16	100.30	5	
辉铋矿	0.41	0.28	0.24	0.44	0.40	3.07	b.l.	0.02	95.41	100.27	7	
自然金	0.61	0.07	18.03	81.27	0.06	b.l.	b.l.	0.02	0.14	100.20	3	

注: b.l. 为未检测。

F)与细粒石英和辉铋矿共生,或呈微细粒状、球粒状与方解石和辉铋矿共生,其中前者通常含有微粒方铋金矿,是载金矿物之一,而后者不含金,形成略晚。辉铋矿是最主要的载金矿物(图5),以细粒集合体的形式出现,常包裹石英颗粒,或呈他形不规则状分布于石英粒间,形成类似海绵陨铁结构。Paakkonenite(Sb_2As_2)一般呈短柱状、板片状、竹叶状和不规则集合体状,主要以交代辉铋矿的形式出现(图5C、D)。

3.3 富硫化物型

包古图金矿床11号矿区(图1C,图6A)和17号矿区(V号岩体北东侧,图1C)的富硫化物型矿石中,发现了大量的自然铋。含自然铋的矿体位于切穿中酸性岩体与围岩接触带的NE向断裂中,其中,11号矿区L1号脉的自然铋与金矿化紧密相关。11号矿区位于包古图地区北部II号岩体SW接触带围岩中,部分延伸到II号岩体内部(图6A),由6条金(铜)矿化脉组成,赋存于断裂破碎带中,只有位于区内最大断裂带内部和下盘的L1、L2号矿脉具工业价值,其余仅具金矿化。赋矿围岩为下石炭统希贝库拉斯组安山岩、晶屑凝灰岩和含角砾凝灰质砂岩。安山岩经历了绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化;晶屑凝灰岩发生了绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、弱硅化。近矿围岩中,常见不同热液演化阶段形成的石英-硫化物脉、多金属硫化物脉以及钠长石-方解石脉。

L1号矿脉位于矿区南部,由3条平行的NE向矿脉(L1-1、L1-2、L1-3)呈右行雁行式排列组成,主

矿脉位于破碎蚀变带中,破碎带长250m,宽1~4m,走向 65° ,倾向SE。矿体呈豆荚状、脉状分布于破碎带中,具尖灭再现的现象,长26~62m,宽0.3~3m。地表工程取样的品位变化较大,从 $n \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$,但钻孔在深部除见到一层盲矿体能达到工业品位外,只见到与地表L1号脉对应的矿化体,品位均在 1×10^{-6} 以下,说明L1号脉向深部已经尖灭(图6B)。L2号脉位于L1号脉北侧约30m的断裂带中,破碎带长度 >2 km,矿化段长约350m,宽1~1.6m,走向 65° ,倾向NW,倾角 60° ,地表 $w(Au)$ 为 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$,钻孔在深部只见到不具工业价值的微弱矿化,已尖灭(图6B)。此外,L2号脉为铜金矿脉,具有很好的铜矿化,常见孔雀石、斑铜矿和黄铜矿,铜品位可达10%,但规模较小,与金类似,随着深度增加,铜的含量也急剧下降。L1号脉地表矿体受强烈的表生作用改造(图7A),地表工程未见原生矿体,矿石为块状含金黄铁矿(岩)、黄铁矿-臭葱石(岩)、臭葱石(岩)及松散状褐铁矿化蚀变碎裂岩。矿石中发现部分金属硫化物(毒砂、黄铁矿、黄铜矿等)含量高达80%的矿石(图7A、B),是这些氧化型矿石的原生矿石。

矿石呈块状构造和脉(网脉)状构造,发育典型的充填-交代结构、固溶体分离结构、碎裂结构和包含结构。脉石矿物含量较低,主要为方解石、绿泥石和少量石英、楣石等。矿石矿物主要有毒砂、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、辉铋矿、自然铋和自然金(表1)。毒砂是矿体中含量最高的矿物,

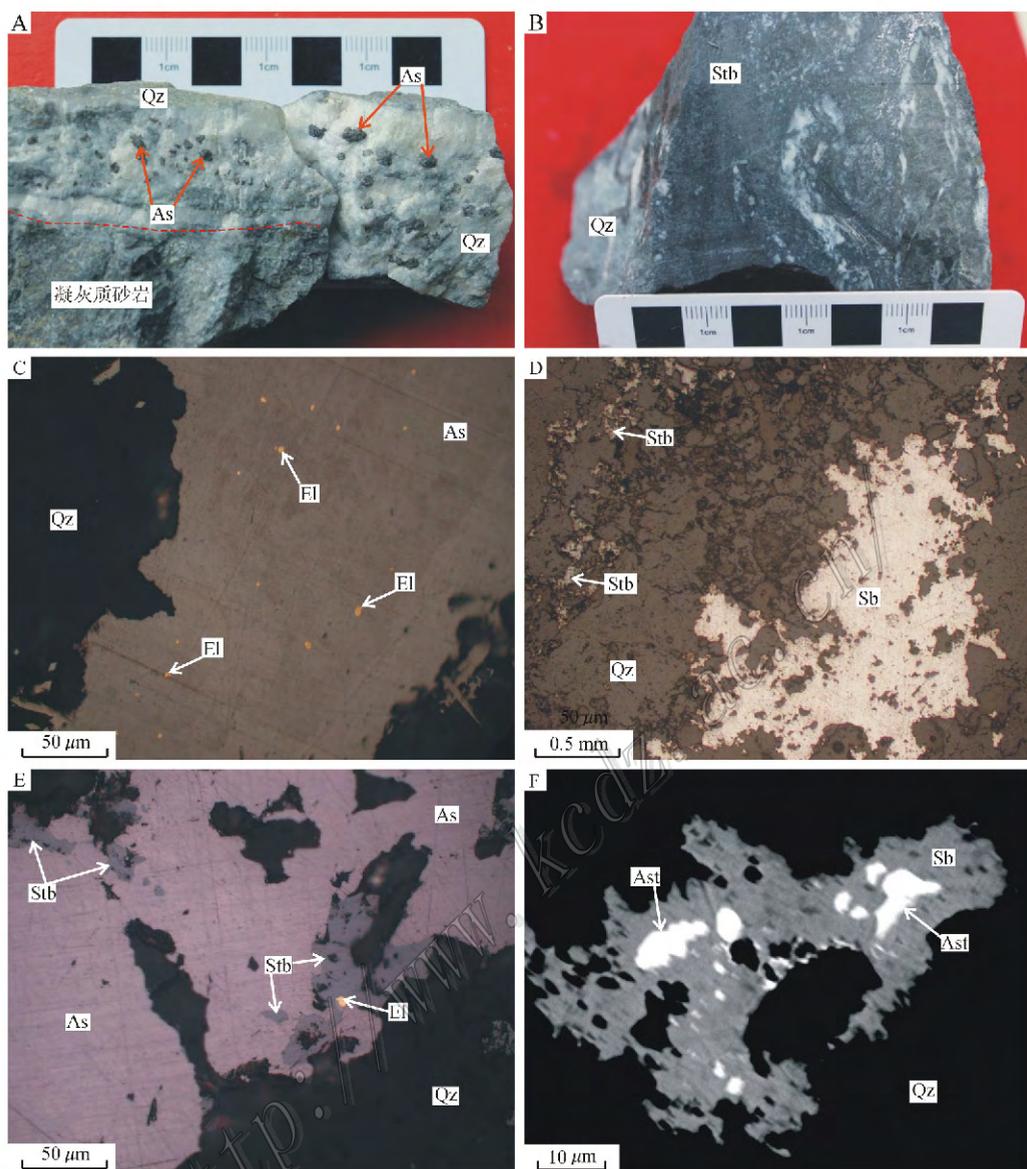


图 4 辉锑矿-石英脉型矿石中的自然砷和自然锑

A. 含大量自然砷的石英脉, 浅部矿石; B. 辉锑矿-石英脉, 深部矿石; C. 矿脉浅部自然砷包裹大量银金矿颗粒, 反射光; D. 自然锑与辉锑矿、石英共生, 反射光; E. 矿脉深部自然砷交代辉锑矿, 交代残余的孤岛状辉锑矿保留在自然砷内部, 反射光; F. 自然锑颗粒内部包裹方锑金矿, BSE

As 自然砷; Stb 辉锑矿; El 银金矿; Sb 自然锑; Ast 方锑金矿; Qz 石英

Fig. 4 Native arsenic and native antimony in stibnite-quartz vein type ore

A. Quartz vein with abundant native arsenic, shallow ore; B. Stibnite-quartz vein, deep-seated ore; C. Abundant electrum particles enclosed in native arsenic, reflected light; D. Native antimony associated with stibnite and quartz, reflected light; E. Native arsenic replacing stibnite, some isolated residual stibnite enclosed in native arsenic, reflected light; F. Aurostibite enclosed in native antimony, BSE

As—Native arsenic; Stb—Stibnite; El—Electrum; Sb—Native antimony; Ast—Aurostibite; Qz—Quartz

呈他型斑状压碎结构或花岗状压碎结构, 与黄铁矿密切共生。黄铜矿常呈脉状充填于毒砂裂隙中, 局部黄铜矿占矿石主体, 体积分数可达 50% 以上。黄

铁矿一般与毒砂共生, 局部见黄铁矿呈脉状充填于毒砂裂隙中。黄铁矿常包裹磁铁矿和磁黄铁矿。

自然铋和辉铋矿是矿石中常见的含铋矿物, 通常

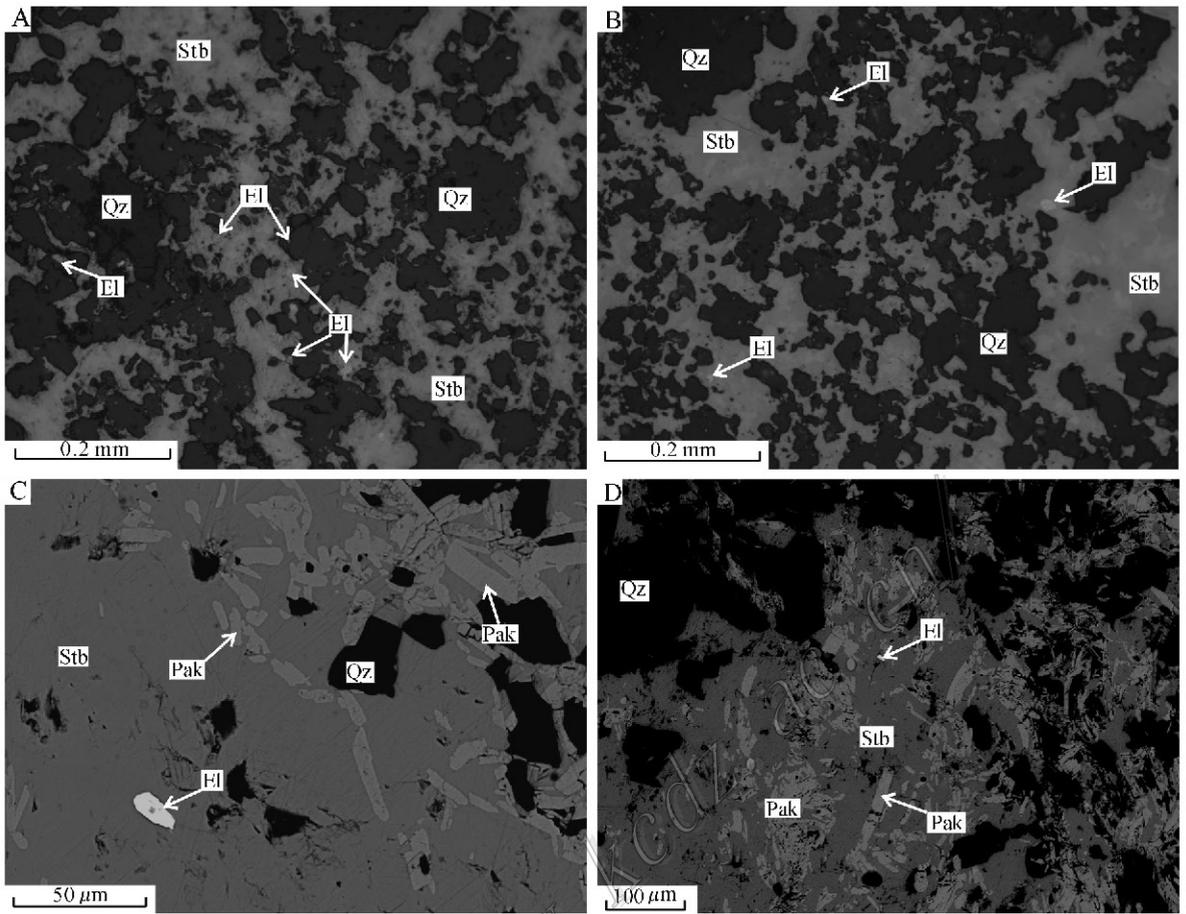


图5 辉锑矿-石英脉型矿石中的辉锑矿和 paakkonenite

A、B. 辉锑矿、石英和银金矿共生, 银金矿位于辉锑矿内部或石英颗粒间, 反射光; C、D. Paakkonenite 呈竹叶状分布在辉锑矿中, 辉锑矿中包裹银金矿, BSE

Stb—辉锑矿; El—银金矿; Pak—Paakkonenite; Qz—石英

Fig. 5 Stibnite and paakkonenite in stibnite-quartz vein type ore

A, B. Electrum associated with stibnite and quartz, reflected light; C, D. Paakkonenite distributed in stibnite, electrum enclosed in stibnite, BSE
Stb Stibnite; El Electrum; Pak Paakkonenite; Qz Quartz

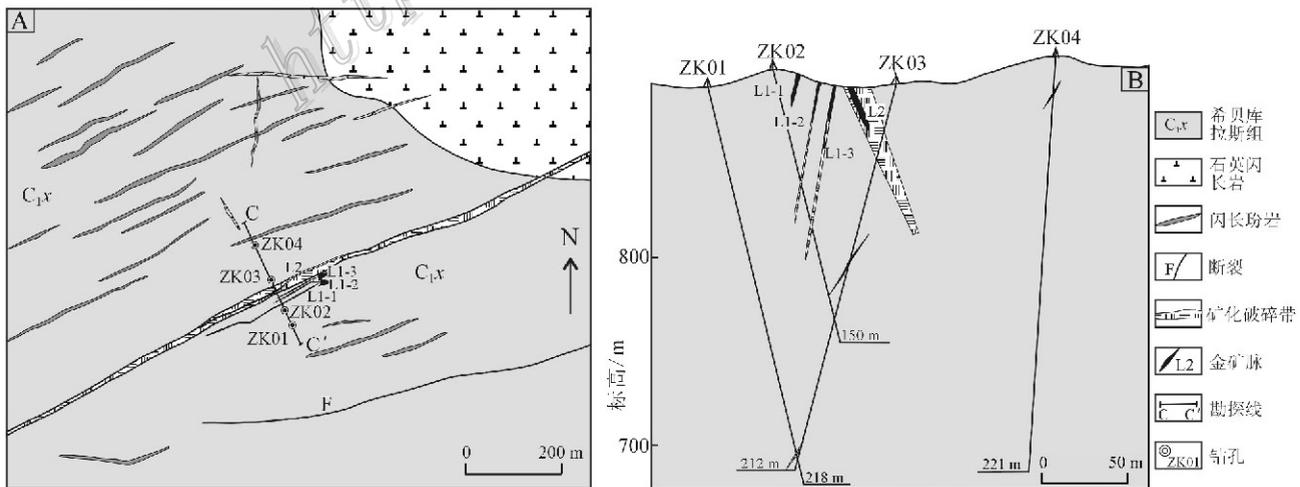


图6 11号矿区地质简图(A)和勘探线剖面图(B)(据武警黄金部队内部资料修改)

Fig. 6 Simplified geological map (A) and section along the exploration line of No. 11 gold block (modified after data by Gold Party of CAPF)

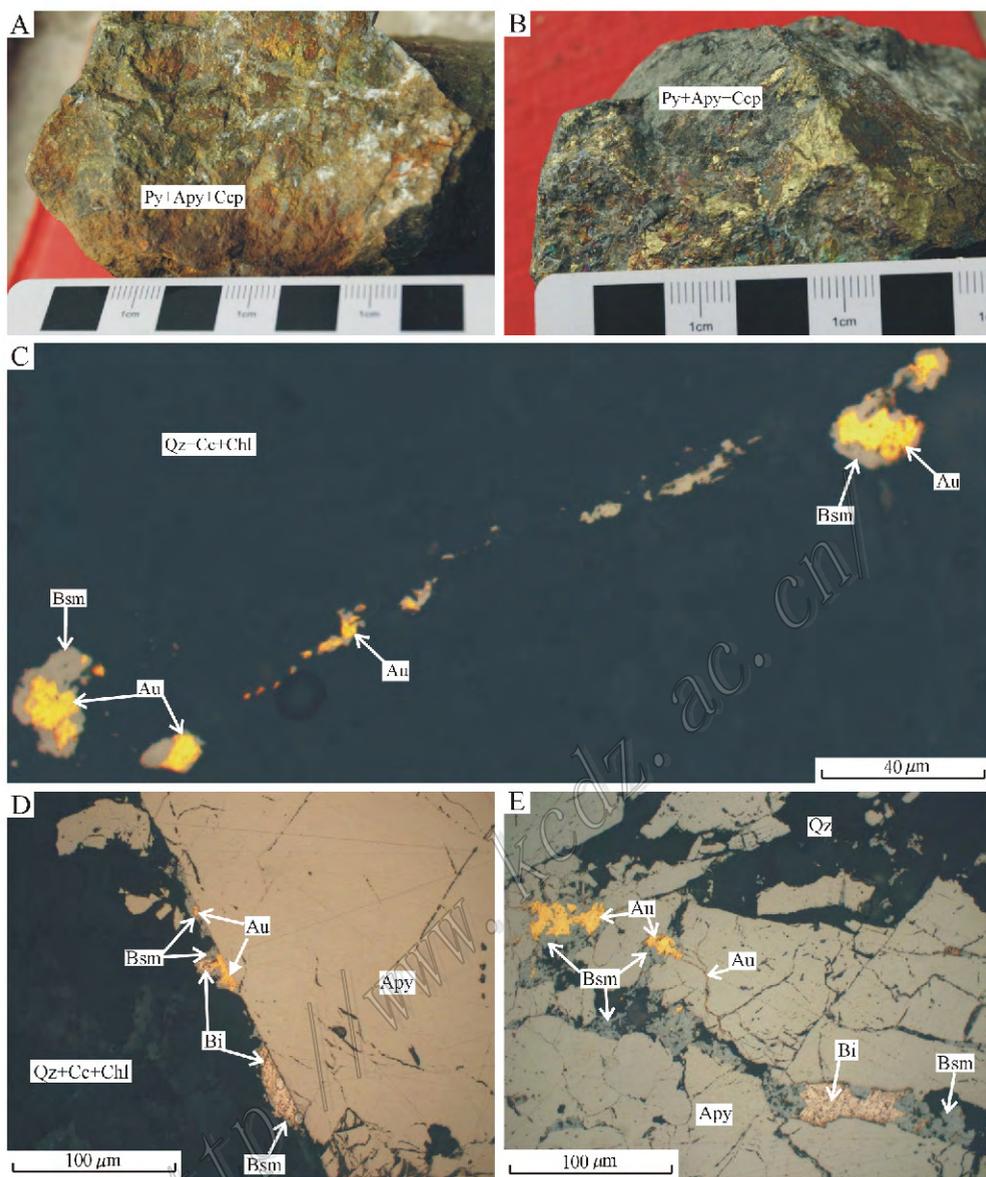


图 7 富硫化物型矿石及矿石中的矿物组合

A、B. 富硫化物型矿石；C. 脉石矿物中自然金与辉铋矿伴生，反射光；D、E. 自然金与自然铋共生，自然铋被辉铋矿交代，反射光
 Py—黄铁矿；Apy—毒砂；Ccp—黄铜矿；Bsm—辉铋矿；Au—自然金；Bi—自然铋；Cc—方解石；Qz—石英；Chl—绿泥石

Fig. 7 Sulfide-rich ore and mineral assemblages

A, B. Sulfide-rich type ore; C. Closely associated gold and bismuthinite in gangue minerals, reflected light; D, E. Coexistence of native gold and native bismuth, native bismuth replaced by bismuthinite, reflected light

Py Pyrite; Apy Arsenopyrite; Ccp Chalcopyrite; Bsm Bismuthinite; Au Native gold; Bi Native bismuth; Cc Calcite; Qz Quartz; Chl Chlorite

与金伴生或共生，关系紧密(图 7C~E)。自然铋有 2 种产状：① 包裹在硫化物内部，大量自然铋呈不规则细粒状包裹在毒砂颗粒中，在毒砂中分布较均匀，或包裹于毒砂裂隙中的网脉状黄铜矿中，或呈滴状包裹于黄铁矿内部，或与黄铜矿共生包裹于毒砂颗

粒内部，后两种情况较少；② 存在于开放空间中(图 7C~E)，这一类常被辉铋矿交代，呈粒状独立分布在硫化物间的方解石-绿泥石等脉石矿物中，或呈细脉状充填在毒砂、黄铁矿和闪锌矿的裂隙中，或沿自形毒砂的边部生长。辉铋矿通常与自然金和自然铋伴

生,内部含星点状自然金,或在自然金颗粒的外部生长,构成核边结构,辉铋矿为交代自然铋的产物,当自然铋暴露于裂隙中时,均见辉铋矿交代自然铋,而被早期硫化物包裹的自然铋则无交代现象(图7C~E)。主要含金矿物为自然金,自然金的产状有以下几种:呈不连续脉状分布在方解石-绿泥石-石英等脉石矿物中,外部生长辉铋矿(图7C);沿自形毒砂的边部生长,并与自然铋共生,与辉铋矿伴生(图7D);与自然铋共生、与辉铋矿伴生充填在毒砂破碎裂隙中(图7E);与自然铋共生被毒砂和黄铜矿包裹,或呈独立粒状包裹在黄铜矿中,但这种包裹在硫化物内部的自然金远不如前3种常见。

3.4 蚀变岩型

近年来,包古图地区的金矿勘探工作取得了新进展,新疆有色地质勘查院在包古图I号岩体及其附近的勘探工作中,通过化探在岩体西侧发现金异常,并发现了乃比克金矿床(祁小芮,2012)。乃比克金矿床以蚀变岩型金矿化为主,同时,也是包古图地区首次报导的以NW向断裂为主要导矿和容矿构造的具工业价值的金矿床。

该矿床位于包古图地区西北部I号岩体西侧的包古图河谷及东岸谷地中(图1C,图8)。岩体西南侧发育NW向的矿区主断裂,倾向SW,倾角50~80°,破碎带宽5~20m,断层带内岩石破碎,硅化、黄

(褐)铁矿化、碳酸盐化明显,在NW端撒开呈帚状。该断层NE盘为包古图组凝灰质砂岩及凝灰岩,NE向闪长玢岩、闪长岩脉较发育,断层SW盘为太勒古拉组砂岩、粉砂岩,岩石呈薄层状,层理清晰。目前发现的主要金矿化体均位于该断裂北侧的一些次级断裂带中。

目前,矿区内初步圈定6条金矿(化)体,集中分布于花岗闪长岩外接触带附近NW向断裂的次级断裂破碎带中,走向NW向、NNW向和近WE向。含金破碎带长100~800m,宽1~10.7m,金矿脉长20~230m,厚0.25~10.7m,沿走向有膨大缩小、分枝复合的特点,金品位较低,最高 8.1×10^{-6} ,平均为 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ (据祁小芮,2012)。

矿体多为强烈蚀变的晶屑凝灰岩、凝灰质粉砂岩(图9A、B),石英网脉穿插其中,为块状、脉状及网脉状构造,局部角砾状,地表矿石露头含石英脉碎块,呈红褐色、黄褐色破碎状(图9A)。矿石矿物主要有黄铁矿、毒砂、黄铜矿及少量的辉铋矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黝铜矿和车轮矿,围岩中可见少量石墨。脉石矿物主要有石英、铁白云石,少量绿泥石、绢(白)云母、磷灰石等。黄铁矿呈半自形-自形的五角十二面体晶形,集合体呈团块状、细脉状分布;毒砂呈菱形或针状、短柱状,有时包裹于黄铁矿内部(图9C~E)。矿石中的金主要以自然金形式包

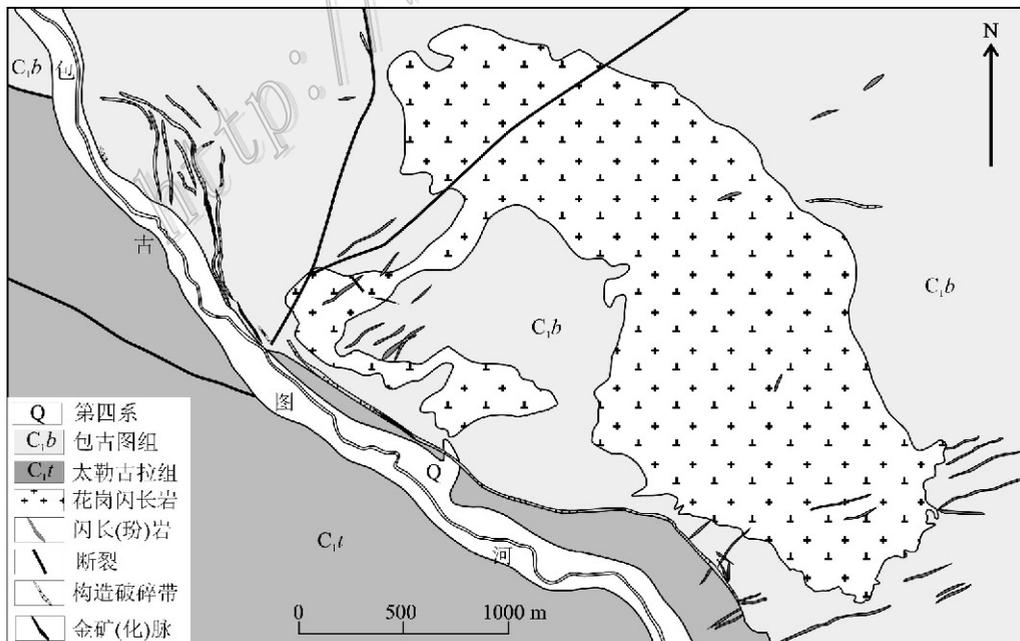


图8 乃比克金矿床地质简图(据祁小芮,2012修改)

Fig. 8 Simplified geological map of the Naibike gold deposit (modified after Qi, 2012)

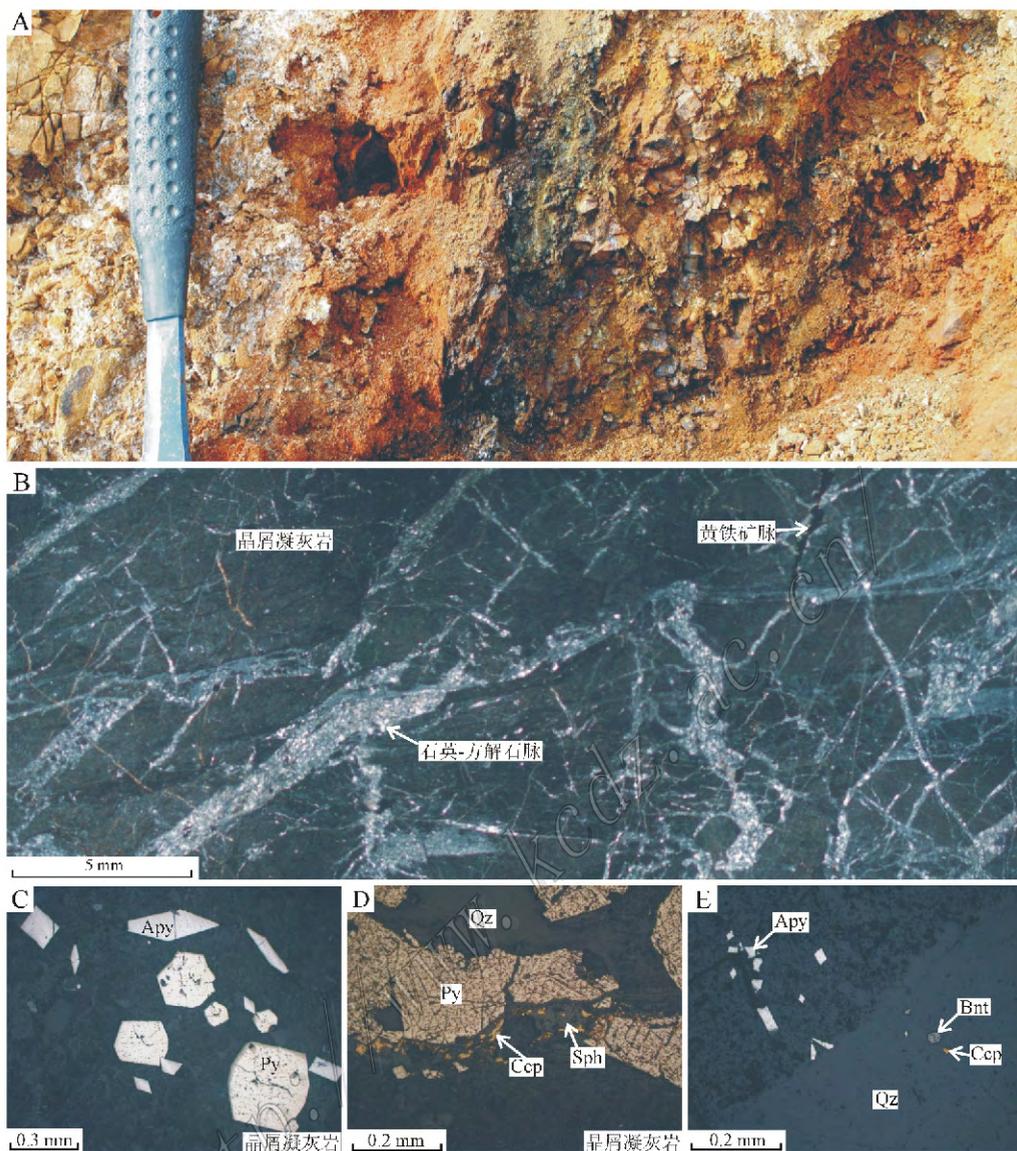


图9 乃比克金矿床地表露头和矿石镜下特征

A. 乃比克金矿床地表露头；B. 蚀变岩中热液脉，正交光；C. 蚀变晶屑凝灰岩(矿石)中的自型毒砂和黄铁矿，反射光；D. 矿石中黄铜矿形成略晚于黄铁矿，反射光；E. 矿石中的石英细脉，反射光

Apy—毒砂；Py—黄铁矿；Ccp—黄铜矿；Bnt—车轮矿；Sph—闪锌矿；Qz—石英

Fig. 9 Outcrop of the Naibike gold deposit and characteristics of ore under microscope

A. Outcrop of the Naibike gold deposit; B. Hydrothermal veins in altered rock, crossed nicols; C. Euhedral arsenopyrite and pyrite in altered crystal tuff, reflected light; D. Chalcopyrite formed later than pyrite, reflected light; E. Quartz veinlets in altered rock ore, reflected light

Apy—Arsenopyrite; Py—Pyrite; Ccp—Chalcopyrite; Bnt—Bournonite; Sph—Sphalerite; Qz—Quartz

裹于黄铁矿、毒砂、辉锑矿、石英等矿物晶体中或存在于其裂隙中，金的粒度多为微细粒(祁小芮, 2012)。

4 讨论

4.1 金矿化与地层、岩体和岩脉的关系

空间关系上，包古图地区的金矿脉多就位于下

石炭统火山-碎屑沉积岩中，并与晚古生代岩浆岩密切相关(图1C,图2A,图6A,图8,图10)。阔个沙也金矿床位于Ⅲ号和Ⅳ号岩体北侧围岩中，11号矿区矿体严格受切割Ⅱ号岩体的NE向断裂控制(图6A)，乃比克金矿床就位于Ⅰ号岩体SW侧NW向断裂带中(图8)。金矿(化)脉在空间上与岩脉存在密切关系(图2A,图6A,图8,图10)，因此，有观点认为包古图地区的金矿化与岩脉关系紧密(齐进英，

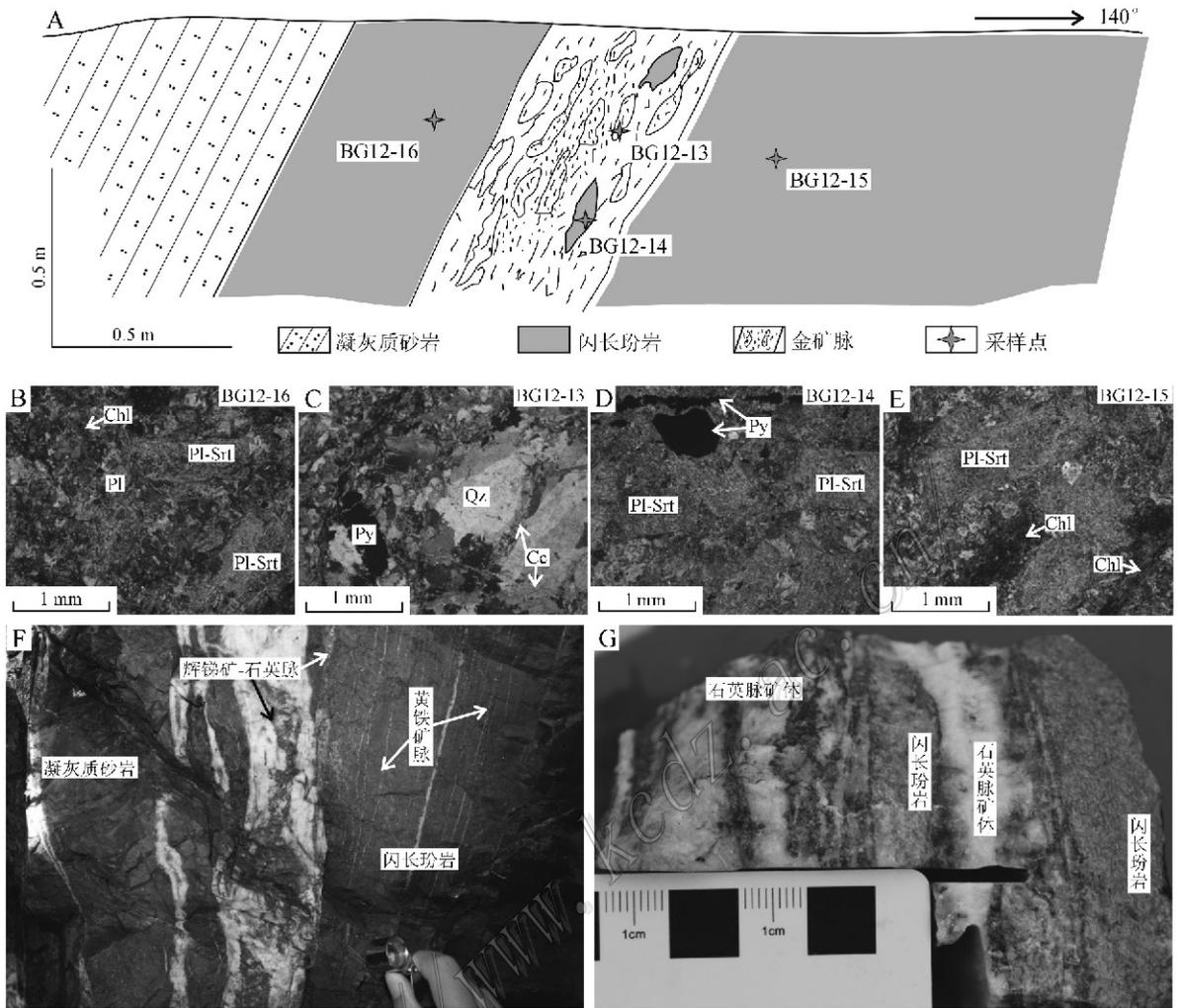


图 10 包古图金矿区内金矿化与岩脉的关系

A. 4号矿区L2号脉2中段矿体与围岩关系素描图; B~E为A图中样品显微照片,均为正交光; B. 矿脉上盘闪长玢岩脉; C. 石英脉矿体; D. 石英脉矿体中的闪长玢岩角砾,矿化和蚀变都明显强于上、下盘岩脉,指示矿化时间明显晚于岩脉形成; E. 矿脉下盘闪长玢岩脉,上、下盘岩脉在坑道内观察和镜下鉴定都有明显差别,不属于同一条岩脉; F. 4号矿区L7号脉7中段照片,辉钼矿-石英脉分支贯穿到闪长玢岩内部,闪长玢岩发生强烈蚀变,沿矿脉方向形成多条黄铁矿-石英脉; G. 2号矿区L2号脉矿石标本,围岩闪长玢岩强烈蚀变,并有闪长玢岩角砾裹入石英脉矿体之中

Chl—绿泥石; Pl—斜长石; Pl—Srt—绢云母化斜长石; Qz—石英; Cc—方解石; Py—黄铁矿

Fig. 10 Relationship between gold mineralization and dikes in the Baogutu ore district

A. Relationship sketch of ore body and dike of mid-2 of L2 vein in No. 4 ore block; B~E. Microphotographs of samples in Fig. A, crossed nicols; B. Dioritic porphyrite in hanging wall of vein; C. Quartz vein ore; D. Dioritic porphyrite breccias in quartz vein, with mineralization and alteration more intense than porphyrite on the two sides of quartz vein, indicating that the gold mineralization was later than the crystallization of porphyrite; E. Dioritic porphyrite in heading wall of vein, which is quite different from that at hanging wall under microscope and naked eye, suggesting that they are not the same one; F. Photo of mid-7 of L7 vein in No. 4 ore block, stibnite-quartz vein penetrating dioritic porphyrite which was intensively altered and formed a lot of pyrite-quartz veinlets; G. Sample of L2 vein in No. 2 ore block, the host rock dioritic porphyrite intensely altered, and the breccia of dioritic porphyrite occurring in quartz vein

Chl—Chlorite; Pl—Plagioclase; Pl—Srt—Sericitized plagioclase; Qz—Quartz; Cc—Calcite; Py—Pyrite

1993)。II号岩体西侧钻孔揭示的矿化带几乎位于岩脉的下盘, 阔个沙也金矿床中矿脉与岩脉也紧密相关(图2)。但是通过笔者大量的野外调查及矿山坑内观察发现, 包古图地区几乎所有的金矿化都出现在岩体的边部或附近, 远离小岩体时, 很少见金矿

化。虽然金矿化在空间上与岩脉之间存在非常紧密的关系, 但仅限于在小岩体附近, 即这种关系是建立在小岩体存在的前提下, 当岩脉远离岩体时并未发现岩脉的侵入引起金矿化, 岩脉自身也没有相应的矿化和蚀变。多数金矿化出现在岩脉下盘, 也有矿

脉直接穿过岩脉且岩脉本身也是矿脉一部分的情况,如包古图金矿床 2 矿区 L2 号脉主要沿着岩脉下盘分布,有时金矿脉直接穿切岩脉、有时岩脉自身也成为 L2 矿脉的一部分(图 2)。采矿坑道内观察表明,金矿脉中有时会裹入一些闪长玢岩脉的角砾(图 10A、G),而且这些角砾被强烈改造交代,特征与矿脉中的蚀变岩型矿石一致(图 10C、D),亦可见辉锑矿-石英脉矿体直接灌入到闪长玢岩中,并使闪长玢岩发生强烈的蚀变和矿化(图 10F),形成由内而外逐渐减弱的蚀变晕。以上特征表明这些岩脉是先于金矿化形成的。西准噶尔地区的岩脉分为中基性岩脉(辉石闪长岩、辉绿玢岩)和中酸性岩脉(闪长岩、石英闪长岩和花岗斑岩)两类,年代学数据表明中基性岩脉(二叠纪—早三叠世,李辛子等,2004;周晶等,2008)形成明显晚于区内的中酸性岩体和铜金矿化(李华芹等,2000;宋会侠等,2007),而中酸性岩脉的形成与中酸性岩体和铜金矿化大致同期(Tang et al., 2010)或略晚(刘玉琳等,2009)。因此,金矿化与岩体和岩脉之间的关系可能为:中酸性岩脉和中酸性岩脉大致同期形成(中酸性岩脉的形成时间持续较长,因此出现了部分中酸性岩脉切割了中酸性小岩体),源于中酸性小岩体的晚期含矿热液沿岩体周围的张性裂隙和中酸性岩脉下盘迁移沉淀而成矿,岩脉提供了热液侧向运移的通道和向上扩散的屏障,西准噶尔地区晚二叠纪—早三叠世可能一直持续有中基性岩脉形成,而这些中基性岩脉与金矿化之间并没有直接的联系。

为了进一步分析金矿化与火山碎屑岩地层、岩体和脉岩之间的关系,笔者在包古图地区的 3 个区域分别采取岩体、地层和岩脉的 3044 件样品进行成矿元素含量分析,以观察地层、岩体和岩脉与金矿化之间的关系。3 个采样区位置见图 1C,①号采样区位于Ⅲ号岩体及其周围 1 km 范围内;②号采样区位于Ⅱ号岩体两侧 1~4 km 范围内;③号采样区中没有中酸性岩体出露,与岩体的距离大于 5 km。

分析结果表明, $w(\text{Au})$ 、 $w(\text{As})$ 、 $w(\text{Cu})$ 在中酸性岩体中明显富集,岩体附近的地层中亦富集,但略低于岩体(图 11,表 2),离岩体越远含量越低, $w(\text{Bi})$ 和 $w(\text{Ag})$ 也具有类似的特征; $w(\text{Au})$ 在中酸性岩体中的含量最高(平均 29.44×10^{-9}),分布也最均匀(变化系数 1.90)。上述特征表明,这些成矿元素很可能来源于中酸性岩体。 $w(\text{Sb})$ 与距中酸性岩体的距离亦呈反比,但在岩体围岩中的含量最高,这些 Sb

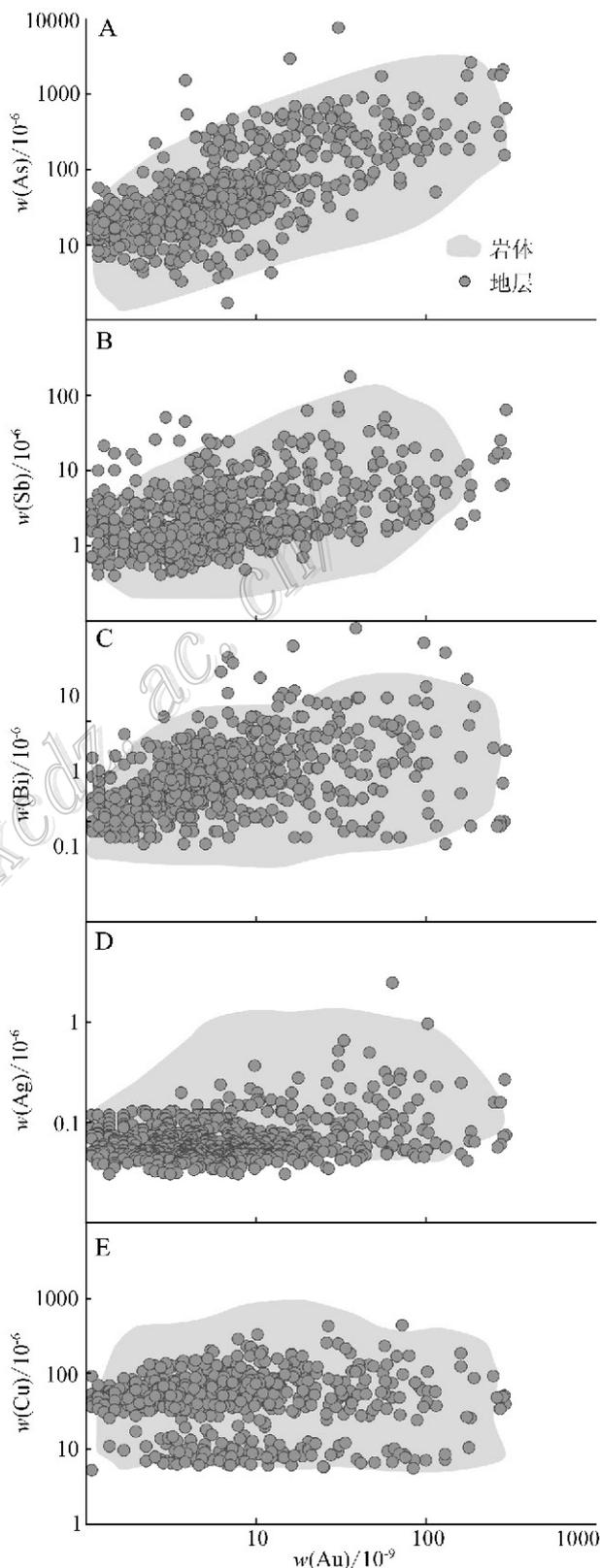


图 11 采样区①(位置见图 1C)中岩体内部和围岩地层的 Au 与其他元素的相关性图解

Fig. 11 Correlation of ore-forming elements of quartz dioritic and C_{1b} volcanoclastic rock of area ① in Fig. 1C

表2 包古图地区地层、岩体、岩脉成矿元素变化特征($w_B/10^{-6}$)Table 2 Ore-forming elements of strata, stocks and dikes in Baogutu area($w_B/10^{-6}$)

成矿元素及特征值	①号采样区			②号采样区		③号采样区	
	岩体(646)	地层(809)	岩脉(132)	地层(722)	岩脉(146)	地层(487)	岩脉(20)
Au*	平均	29.44	21.28	18.35	17.38	9.29	1.73
	标准偏差	56.05	52.80	38.64	58.94	36.64	2.20
	变化系数	1.90	2.48	2.11	3.39	3.94	1.27
As	平均	280.1	183.0	131.5	124.0	65.48	10.39
	标准偏差	661.6	540.5	261.6	528.1	271.6	6.73
	变化系数	2.36	2.95	1.99	4.26	4.15	0.65
Sb	平均	5.84	10.82	7.53	7.60	4.67	0.59
	标准偏差	12.00	155.5	23.48	28.59	16.61	0.29
	变化系数	2.05	14.37	3.12	3.76	3.56	0.49
Bi	平均	1.00	0.70	1.52	0.12	0.09	0.10
	标准偏差	4.21	6.02	1.04	0.16	0.08	0.06
	变化系数	4.21	8.60	0.68	1.33	0.89	0.60
Ag	平均	0.15	1.10	0.08	0.07	0.06	0.05
	标准偏差	0.21	0.32	0.06	0.08	0.02	0.01
	变化系数	1.40	0.29	0.75	1.14	0.33	0.20
Cu	平均	83.80	59.77	68.31	47.19	54.79	48.79
	标准偏差	139.0	68.58	64.60	26.39	35.57	25.57
	变化系数	1.66	1.15	0.95	0.56	0.65	0.52

注: *单位为 10^{-9} ()内数字为样品个数,具体位置见图1C。

可能仍来自中酸性岩体,但在岩浆期后热液活动中大量外迁,造成岩体内部的相对亏损,与岩体及围岩接触带发现的大量辉锑矿和自然锑吻合。同一采样区内闪长玢岩脉中的成矿元素含量明显低于中酸性岩体和火山碎屑岩,尤其是距离岩体最远的③号采样区(表2),说明岩体周围的岩脉(①号、②号采样区)可能受到了岩体岩浆期后热液的影响或是二者具有同源性,而远离岩体的岩脉(③号采样区)未受影响或异源。此外,根据化探资料(武警黄金部队内部资料),Ⅱ号岩体是包古图地区分布最广、异常最强的Bi异常区。同时,在11号矿区发现了大量自然铋,且与金矿化关系密切。自然铋是一种密度很大的矿物($9.7\sim 9.8\text{ g/cm}^3$),很难随流体迁移到较远的位置,这也说明11号矿区的成矿流体来源于与其在空间上关系密切的Ⅱ号岩体(图6)。

选取①号采样区中的石英闪长岩岩体和围岩地层分析As、Sb、Bi、Ag、Cu、Au等成矿元素迁移的相关性。各元素的检出下限: $\alpha(\text{Au})$ 为 0.3×10^{-9} [$\alpha(\text{Au})$ 上限为 300×10^{-9} ,其余无上限], $\alpha(\text{Ag})$ 为 0.03×10^{-6} , $\alpha(\text{Cu})$ 为 2.0×10^{-6} , $\alpha(\text{As})$ 为 0.50×10^{-6} , $\alpha(\text{Sb})$ 为 0.20×10^{-6} , $\alpha(\text{Bi})$ 为 0.05×10^{-6} ;但考虑到分析Au在迁移过程与其他元素之间的关系,这里舍弃Au含量过低的数据,取 $\alpha(\text{Au})$ 的下限

为 1.0×10^{-9} 。分析结果表明,在岩体与地层围岩中,成矿元素的含量、Au与其他元素的相关性并没有实质性的区别,Ag和Cu在岩体中的高值略大于在地层中的,Cu的含量在岩体中分为比较明显的2组,与Ⅲ号岩体南北差异有关(Ⅲ号岩体北部以石英闪长岩为主,南部以闪长岩为主,并有辉石闪长岩和辉绿岩出现),岩体中元素含量分布比较均匀,而地层中低值部分比较多。无论是岩体内部还是围岩地层,As与Au之间都表现出明显的正相关性,Sb、Bi与Au之间为弱正相关,而其他元素与Au无相关性(图11),这与笔者观察到的金矿化与自然砷、自然锑、辉锑矿、自然铋和辉铋矿紧密相关是一致的。因此,包古图地区As异常是金矿勘探最为主要的地球化学标志,其次为Sb,其他元素具有参考意义;而相应的砷、锑、铋矿物,尤其是肉眼即可见的辉锑矿和自然砷是最直接的矿物学标志。

4.2 矿化类型的决定因素

尽管包古图地区的金矿脉在空间展布及成因上都与区内的中酸性岩体有直接关系,但也存在显著区别,容矿构造的性质是关键因素,其压、张、扭性对成矿特征影响显著。Ⅰ号岩体西侧乃比克金矿床的矿体产于NW走向、SW倾向的压性断裂系统之中,压性断裂系统成矿空间小,热液通过断裂时以交代

断裂带内破碎原岩成矿的方式为主(图 9),由此形成蚀变岩型矿化,围岩与矿体没有清晰的界线,这种压性构造的形成可能与前文述及的包古图地区存在由 SW 向 NE 的推覆活动有关。4 号矿区 L7 号脉矿体几乎全部由辉锑矿-自然砷-石英脉组成(图 4),形成大量的梳状石英,偶见晶洞构造,脉中矿物沿脉壁生长的特征明显,说明矿体形成于张性空间之中,因此 L7 号脉中的矿体以充填成矿的方式为主,矿体与围岩之间也有截然的边界。相对于完全张性和压性的断裂来说,兼具张性和压性特征的扭性断裂在自然界更常见,其孔隙度、渗透率介于二者之间,更有利于成矿,因此,包古图地区绝大部分矿脉都就位于这一类断裂之中,形成石英脉-蚀变岩型矿体,兼具充填和交代的特征(图 3A、B)。

容矿断裂的性质也决定围岩在成矿过程中的参与程度,压性断裂中成矿热液与破碎围岩充分均匀反应形成细脉浸染状矿化(图 9),张性断裂中成矿热液与围岩反应较弱,如 4 号矿区 L7 号脉,黄铁矿、毒砂在包古图金矿区中普遍存在,但 L7 号脉的辉锑矿-自然砷-石英脉中没有发现黄铁矿,仅有少量毒砂,这可能与成矿体系中的 Fe 由围岩提供有关,而在这种张性断裂中,围岩与成矿热液的反应却十分有限。此外,成矿元素的化学性质也对矿体的就位、类型有影响,比如在热液矿床中,As、Sb 通常迁移到成矿体系外带并在中-低温阶段沉淀,而 Bi 则在成矿体系内带的高温阶段沉淀(邵跃,1997),11 号矿区与自然砷密切相关的金矿体就位于岩体与围岩接触带附近,这与 Bi 元素的难迁移特性是相对应的,而 As、Sb 可以从岩体中迁移到距岩体 2 km 以内的范围,形成自然砷、毒砂和辉锑矿等。

5 结 论

包古图地区的金矿化类型丰富多样,可分为石英脉-蚀变岩型、蚀变岩型、辉锑矿-石英脉型和富硫化物型,不同的矿化特征与其容矿构造的性质、矿源岩浆热液的元素组合有着密切的关系。石英脉-蚀变岩型是最主要的矿石类型,构成包古图地区最主要的经济矿体,也是这一地区找矿的主要方向。蚀变岩型金矿化(乃比克金矿床)是包古图地区近年来发现的一种新的矿化类型,矿化体主要位于 NW 向断裂之中,这一发现为该区金矿的勘探提供了新思路。辉锑矿-石英脉型(4 号矿区 L7 号脉)是一种特

殊的矿化类型,含自然砷、自然锑、Paakkonenite、方锑金矿和硫锑金银矿等罕见矿物,这些矿物与金矿化直接相关,这一类矿体也是包古图地区发现的最丰富的金矿体,并伴生高品位的锑。富硫化物型矿石(11 号矿区 L1 号脉和 V 号岩体北东接触带)中自然砷与金矿化紧密相关,尽管目前发现的 2 处矿点规模都不大,但是该类型矿体位于具斑岩型矿化的岩体与围岩的接触带上,与区内的斑岩型矿床之间形成一个很好的过渡,有利于整体认识这一地区的金铜成矿规律。

包古图地区的金矿化在空间上和成因上与中酸性岩体关系紧密。各地质体中成矿元素的含量与岩体之间的距离呈反比,成矿元素在中酸性岩体中的含量最高,其次为岩体附近的火山碎屑沉积地层,同一区域内中酸性岩脉的成矿元素含量最低。Au 与 As、Sb 和 Bi 之间具不同程度的正相关性,As、Sb、Bi 的异常,尤其是 As 异常可以作为该地区找金的化探标志。中酸性岩体是区内金矿床成矿物质、成矿流体和热驱动力的主要来源,岩体周围的各种断裂系统是重要的容矿构造,而不仅限于之前认识的 NE 向构造控矿。

志 谢 笔者在矿山工作期间,招金北疆矿业有限公司办公室主任马学勇、总工程师张晋国、工程师曹源和陈刚、生产部经理邵鹏以及新疆有色地质勘查院乃比克金矿负责人吴宏恩提供了很多帮助,特此感谢!

参考文献/References

- 安 芳,朱永峰. 2007. 新疆哈图金矿蚀变岩型矿体地质和地球化学研究[J]. 矿床地质, 26(6):225-336.
- 安 芳,朱永峰. 2009a. 新疆西准噶尔包古图金矿中的自然砷及其矿床成因意义[J]. 科学通报, 54(10):1465-1470.
- 安 芳,朱永峰. 2009b. 新疆西准噶尔包古图组凝灰岩锑石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(6):1437-1445.
- 郭丽爽,刘玉琳,王政华,宋 达,许发军,苏 犁. 2010. 西准噶尔包古图地区地层火山岩锑石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究[J]. 岩石学报, 26(2):471-477.
- 韩宝福,季建清,宋 彪,陈立辉,张 磊. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)后碰撞深成岩浆的活动时限[J]. 岩石学报, 22(5):1077-1086.
- 李华芹,陈富文,蔡 红. 2000. 新疆西准噶尔地区不同类型金矿床

- Rb-Sr 同位素年代研究[J]. 地质学报, 74(2):181-192.
- 李辛子, 韩宝福, 季建清, 李宗怀, 刘志强, 杨斌. 2004. 新疆克拉玛依中基性岩墙群的地质地球化学和 K-Ar 年代学[J]. 地球化学, 33(6):574-584.
- 刘秉光, 夏祥. 1992. 新疆包古图金矿成因矿物学初步研究[J]. 黄金科学技术, 1:10-16.
- 刘玉琳, 郭丽爽, 宋会侠, 宋彪, 张锐, 许发军, 张云孝. 2009. 新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿年代学研究[J]. 中国科学 D 辑, 39(10):1466-1472.
- 齐进英, 熊义大. 1992. 新疆包古图金矿床特征及其成因[J]. 矿床地质, 11(2):154-164.
- 齐进英. 1993. 新疆准噶尔岩脉群地质及成因[J]. 岩石学报, 9(3):287-299.
- 祁小芮. 2012. 新疆托里县乃比克金矿地质特征及成因探讨[J]. 新疆有色金属, 35(1):23-25.
- 邵跃. 1997. 热液矿床岩石测量(原声晕法)找矿[M]. 北京:地质出版社. 8.
- 申萍, 沈远超, 潘成泽, 潘鸿迪, 代华武, 孟磊. 2010. 新疆哈图-包古图金铜矿集区锆石年龄及成矿特点[J]. 岩石学报, 26(10):2875-2893.
- 宋会侠, 刘玉琳, 屈文俊, 宋彪, 张锐, 成勇. 2007. 新疆包古图斑岩铜矿矿床地质特征[J]. 岩石学报, 23(8):1981-1988.
- 谭娟娟, 朱永峰. 2010. 新疆萨尔托海铬铁矿中的 Fe-Ni-As-S 矿物研究[J]. 岩石学报, 26(8):2264-2274.
- 唐功建, 王强, 赵振华, 陈海红, 贾小辉, 姜子琦. 2009. 西准噶尔包古图成矿斑岩年代学与地球化学:岩石成因与构造, 铜金成矿意义[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 34(1):56-74.
- 王莉娟, 王京彬, 王玉往, 朱和平. 2006. 新疆北部准噶尔-东天山地区金矿床的硫铅碳同位素地球化学及对金成矿作用的指示[J]. 岩石学报, 22(4):1437-1447.
- 魏少妮, 喻达兵, 程军峰, 郑波, 朱永峰. 2011. 新疆包古图 III 号岩体岩石学和锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. 地学前缘, 18(2):212-222.
- 张锐, 张云孝, 佟更生, 汪疆, 李龙乾. 2006. 新疆西准包古图地区斑岩铜矿找矿的重大突破及意义[J]. 中国地质, 33(6):1354-1360.
- 张志欣, 杨富全, 闫升好, 张锐, 柴凤梅, 刘锋, 耿新霞. 2010. 新疆包古图斑岩铜矿床成矿流体及成矿物质来源——来自硫、氢和氧同位素证据[J]. 岩石学报, 26(3):707-716.
- 郑波, 安芳, 朱永峰. 2009. 包古图金矿中发现的自然铋及其找矿勘探意义[J]. 岩石学报, 25(6):1426-1436.
- 郑波, 张晋国, 陈刚, 朱永峰. 2013. 新疆包古图金矿四矿区 L7 号脉中的特殊矿物组合及其成矿意义[J]. 矿床地质, 32(6):1117-1138.
- 周晶, 季建清, 韩宝福, 马芳, 龚俊峰, 徐芹芹, 郭召杰. 2008. 新疆北部基性岩脉 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. 岩石学报, 24(5):997-1010.
- 朱永峰, 安芳, 徐存元, 郭海棠, 夏芳, 肖飞, 张凤军, 林彩香, 邱添, 魏少妮. 2013. 新疆哈图及其周边金铜成矿规律和深部找矿预测[M]. 北京:地质出版社.
- An F and Zhu Y F. 2010. Native antimony in the Baogutu gold deposit (West Junggar, NW China): Its occurrence and origin[J]. Ore Geology Reviews, 37:214-223.
- Shen P, Shen Y C, Pan H D, Wang J B, Zhang R and Zhang Y X. 2010. Baogutu porphyry Cu-Mo-Au deposit, west Junggar, north-west China: Petrology, alteration, and mineralization[J]. Econ. Geol., 105:947-970.
- Tang G J, Wang Q, Wyman D A, Li Z X, Zhao Z H, Jia X H and Jiang Z Q. 2010. Ridge subduction and crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Evidence from Late Carboniferous adakites and high-Mg diorites in the western Junggar region, northern Xinjiang (west China)[J]. Chemical Geology, 277:281-300.
- Zhu Y F, Chen B, Xu X, Qiu T and An F. 2013. A new geological map of the western Junggar, north Xinjiang (NW China): Implications for paleoenvironmental reconstruction[J]. Episodes, 36(3):205-220.