

新疆包古图斑岩铜矿伴生元素金和银赋存 状态初步研究

宋会侠¹ 郭国林² 焦学军³ 刘玉琳⁴

(1. 中国地质科学院 地质研究所 北京 100037; 2. 东华理工学院 核资源与环境教育部重点实验室 江西 南昌 330013; 3. 新疆有色地质勘察局 新疆 乌鲁木齐 830000; 4. 北京大学 地球与空间科学学院 北京 100871)

摘要:新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿床 Au 平均含量 0.25 g/t, Ag 为 2.56 g/t, Cu 为 0.30%, 属于富金斑岩铜矿。伴生金和银矿化作用有两期: 早期为斑岩矿化, 形成了 Cu-Mo-Au 矿化组合, 是主矿化期; 后期叠加了 Cu-Au-Ag-Te-Bi 矿化, 规模不大, 出露于矿床的局部部位, 但对矿石起到了加富作用。通过对钻孔薄片和光薄片的镜下观察及电子探针成分分析, 认为早期矿化中 Au 和 Ag 主要呈固溶体形式存在于硫化物中, 分布比较均匀, 基本上不出现独立矿物, Au 含量明显高于 Ag。晚期矿化形成了复杂的 Cu-Au-Ag-Te-Bi 矿物, 矿石呈浸染状和脉状叠加在早期矿化之上, 以银矿物为主, 与多种碲铋类矿物共生, 主要银矿物有碲银矿(?)、银-碲铋矿(?)、银-碲铋铜矿、银金矿等。晚期矿化规模不大, 但对于提高矿床的经济价值具有重要意义。

关键词:新疆, 包古图, 斑岩铜矿, 伴生金银, 赋存状态

中图分类号: P618.41, P578.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2007)04-0329-06

A preliminary study of the modes of occurrence of associated Au and Ag in the Baogutu porphyry copper deposit, Xinjiang Autonomous Region, China

SONG Hui-xia¹, GUO Guo-lin², JIAO Xue-jun³ and LIU Yu-lin⁴

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment of Ministry of Education, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China; 3. Xinjiang Institute of Nonferrous Geology, Urumchi 830000, China; 4. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The Baogutu porphyry copper deposit, a gold-rich porphyry copper deposit, is located on the margin of western Junggar Basin in Xinjiang. The average Au, Ag and Cu contents of the deposit are 0.25 g/t, 2.56 g/t and 0.30%, respectively. Two ore-forming stages have been observed. The early stage, during which Cu-Mo-Au assembly was formed, seems to have been the main mineralization stage. The late stage, during which the Cu-Au-Ag-Te-Bi assembly was generated, only occurred in local places of the ore deposit and was not large in scale, but it played the role of enriching the ore. According to the microscope observation and electron microprobe analyses of the polished sections and polished thin sections, the authors consider that at the early ore-forming stage, Au content was higher than Ag content, and these two elements existed homogeneously in sulfides as solid solutions, with no independent minerals formed. The late ore-forming stage was characterized mainly by the formation of argentiferous minerals and complex Cu-Au-Ag-Te-Bi minerals, with the major minerals being hessite, Bi-bearing hessite (?), Ag-bearing tetradyomite (?), Ag-bearing wittichenite, electrum etc. These minerals are present as slender veins superimposed upon earlier mineralization. Though limited in scale, the late stage mineralization played an important role in improving the economic value of the deposit.

收稿日期: 2006-11-13; 修订日期: 2007-01-12

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010531002); 核资源与环境教育部重点实验室开放基金资助项目(060601)

作者简介: 宋会侠(1982-), 女, 硕士, 同位素地球化学专业, E-mail: huixiasong@cags.net.cn

Key words: Xinjiang; Baogutu; porphyry copper deposit; associated Au and Ag; mode of occurrence

斑岩型铜矿床是上地壳中金的最大储库之一,富金斑岩铜矿金含量 0.2~2 g/t 不等(Grigore *et al.*, 2000; Stephen *et al.*, 2002),金含量的高低对斑岩铜矿的经济价值有重要影响。

研究者们从不同角度定义了富金斑岩铜矿(gold-rich porphyry copper deposit)的概念。早期的定义按 Au/Mo 比值划分,而没有考虑铜的含量(Stephen, 1973)。Sillitoe(1979)从矿床开采的经济价值出发,提出矿石中金含量达到 0.4 g/t,就成为重要的伴生组分,以该含量值作为斑岩铜-金矿床的下限值。Kirkham 和 Sinclair(1995)按 Cu/Au 比值划分,将富金斑岩铜矿定义为 $Au(g/t)/Cu(w_B/\%) > 1:1$,或者 Cu/Au(原子数比值)小于 31 000。Stephen等(2002)的划分方案与之相近,但选取的原子数比值为 40 000。这一数据是基于大量的统计资料确定的,因此比前者更为合理。

从已有研究资料来看,绝大多数斑岩铜矿中的金与铜密切共生,并且与最早阶段的矿化和蚀变事件有关。这类矿床中最高的铜和金品位出现在矿体中部,Cu-Au 具有强烈正相关关系,其中金主要呈自然金和银金矿形式存在(Jones, 1992; Stanley *et al.*, 1995; Rubin *et al.*, 1997)。极少数斑岩铜矿中的金与碲、铋元素共生,并形成独立矿物(Ballantyne *et al.*, 1997)。有时富金矿石形成于斑岩铜矿化之后的矿化蚀变脉中,金在整个矿床中分布不均匀(Mathur *et al.*, 2000)。

新疆包古图斑岩铜矿床金平均含量 0.25 g/t,银为 2.56 g/t,铜为 0.30%^①,局部部位金和银含量较高。如果以 Cu/Au(原子数比值)40 000 为界线,包古图铜矿(Cu/Au 原子数比值为 37 000)属于富金斑岩铜矿。本文作者通过对采自钻孔 ZK102 和 ZK103 的岩心样品的电子探针测定及光薄片观察,发现包古图斑岩铜矿的主要硫化物具有较高的金含量,还有一期 Au-Bi-Te 组合的矿化叠加,对局部部位金的富集起到积极作用,形成了多种金和银的独立矿物。这种 Au-Bi-Te 组合的金银矿化形式在斑岩铜矿中比较少见,本文研究是对该研究领域资料

的丰富,同时也对地质找矿及矿石选冶有重要意义。

1 区域及矿床地质概况

包古图斑岩铜矿是近几年发现于西准噶尔的一个中型矿床,它位于达尔布特大断裂以南,克拉玛依市以西约 35 km 处(张锐等, 2005; 成勇等, 2006; 张连昌等, 2006)。区内地层主要为下石炭统一套巨厚的半深海-大陆坡相火山-火山碎屑沉积建造(沈远超等, 1993)。区内侵入岩以中酸性岩浆岩为主,呈岩株状产出,岩性为花岗闪长(斑)岩、石英闪长(斑)岩、石英二长斑岩、花岗斑岩等。前人按出露面积的大小将这些岩体依次编号,其中包古图斑岩铜矿产于 V 号岩体,其地质略图见图 1。

V 号岩体主体侵入于下石炭统包古图下亚组地层中,由花岗闪长岩和花岗闪长斑岩组成。对探槽观察见有多个闪长斑岩岩脉侵入岩体,并见多个金矿化体、铜-金矿化体及铜矿化体。通过该岩体的多个钻孔岩心取样,发现 V 号岩体基本上呈全岩矿化,内外接触带铜、金矿化好于岩体中部。铜品位不高,平均在 0.3% 左右,另外伴生有金、银、钼等有益元素,可综合利用。

矿石中主要金属矿物黄铁矿约 40%,黄铜矿约 35%;次要矿物有毒砂、磁黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、辉铜矿、钛铁矿和金红石等,总量约 20%,还有微量自然铜、蓝辉铜矿、碲铋类矿物和金银矿物等。矿化类型主要为细脉-浸染状。围岩蚀变主要为钾长石化、石英绢云母化、青磐岩化和沸石化等,呈带状分布。

镜下研究发现,伴生元素金和银矿化作用可明显分作两期。早期为斑岩矿化,是主矿化期,形成了 Cu-Mo-Au 矿化组合;晚期为 Cu-Au-Ag-Te-Bi 矿化,其产物呈浸染状叠加在早期硫化物矿物和硅酸盐矿物之上,主要出露于矿体的下部。晚期矿化规模虽然不大,但对矿石起到了再富集作用,而且形成了丰富的矿物种类。

① 张锐,张云孝,焦学军等,2005.新疆托里县包古图地区斑岩型铜金矿普查报告.新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地质研究所.

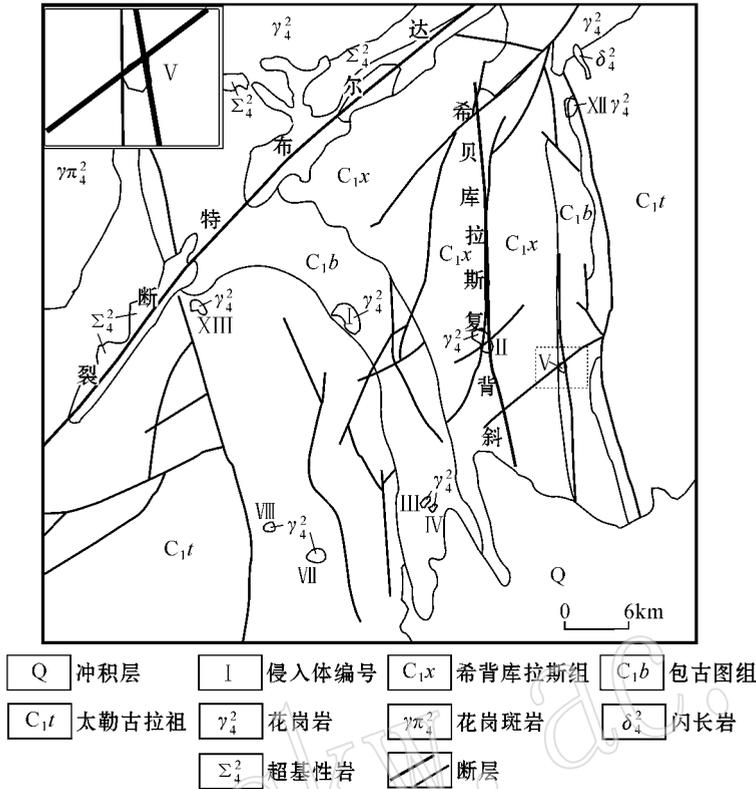


图 1 包古图斑岩铜矿地质略图(据张锐等, 2005)^①

Fig. 1 Geological sketch map of the Baogutu porphyry deposit (simplified after Zhang Rui *et al.*, 2005)

2 早期矿化中金和银的分布

对光片和光薄片进行光学显微镜观察,并选取 ZK102 钻孔矿石中主要硫化物做电子探针分析。测试工作在东华理工学院核资源与环境教育部重点实验室完成,电子探针型号 JXA-8100,测试时加速电压 15.0 kV,束流 2.00×10^{-8} A,束斑直径 $1 \mu\text{m}$,仪器检测极限为 0.01%,定量分析按 GB/T 15246-94 硫化物矿物的电子探针定量分析方法进行。分析结果见表 1 和表 2。

由表 1 可以看出,早期矿化硫化物中含有少量金和银,多数部位品位不高,没有形成独立矿物。金含量明显大于银,最主要的含金矿物是闪锌矿 (0.23%~0.51% Au) 和黄铜矿 (可达 0.12% Au),二者常呈固溶体分离结构;金和银在辉钼矿和黄铁矿中也有显示,但含量远低于前两者。矿床中黄铜矿含量约占金属硫化物总量的 35%,且是除闪锌矿外金含量最高的矿物,故是金的主要载体。包古图斑

岩铜矿中的金在 Cu-Fe 硫化物中呈固溶体形式存在,这与前人的研究结果一致 (Stephen *et al.*, 2002)。

已有的资料表明,在相同物理化学条件下,斑铜矿的容金能力比黄铜矿高一个数量级,且二者成矿温度越高容金能力越强 (Stephen *et al.*, 2002)。包古图斑岩铜矿中斑铜矿很少见,故其对金的制约可以忽略。

3 晚期矿化中金和银的分布

晚期矿化形成的矿石呈细脉状或浸染状,叠加在早期矿化产物之上,并对其进行交代和改造,同时有益组分明显增加。矿床中的一些富铜、金部位可能与这种后期矿化叠加有关。

晚期矿化形成了复杂的 Cu-Au-Ag-Te-Bi 矿物,计有黄铜矿、辉铜矿、自然铜、自然铋、辉铋铜矿、硫铋矿、辉铋矿、叶铋矿、碲银矿、银-硫铋铜矿、银金矿等 (表 2、图 2)。另有两种矿物,尚未见有资料记录,本文暂时定名为铋-碲银矿和银-辉铋矿,

① 张锐,张云孝,焦学军等. 2005. 新疆托里县包古图地区斑岩型铜金矿普查报告. 新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地质研究所.

表1 早期主要硫化物成分电子探针测试数据

 $w_B/\%$

Table 1 EPMA data of sulfides at the early ore-forming stage

矿物	样品号	化学分子式	S	As	Fe	Cu	Ag	Au	Te	Bi	Zn	Mo	Pb	Total
闪锌矿	ZK102-G13-1	Zn _{0.92} Fe _{0.06} S	33.74	0.06	3.26	-	-	0.23	-	-	63.13	0.54	-	101.01
	ZK102-G13-4	Zn _{0.90} Fe _{0.07} S	34.02	-	4.12	0.03	-	0.51	-	-	61.95	0.45	-	101.18
	G102-181-1	Zn _{0.82} Fe _{0.14} Cu _{0.03} S	32.62	0.05	7.64	2.06	-	0.34	-	-	56.32	0.58	0.03	99.64
黄铜矿	ZK102-G19-3	Cu _{1.01} Fe _{0.99} S ₂	35.08	-	30.16	34.99	-	0.03	-	-	0.11	0.49	-	100.94
	ZK102-G7-3	Cu _{1.07} Fe _{1.03} S ₂	33.59	-	30.40	35.63	0.03	0.12	-	-	0.07	0.40	-	100.25
	G102-181-2	Cu _{1.06} Fe _{1.06} Mo _{0.02} S ₂	33.26	-	30.45	34.69	0.10	0.02	-	-	0.06	0.52	-	99.12
	ZK102-G13-2	Cu _{0.98} Fe _{0.98} S ₂	35.17	-	29.98	34.57	-	-	-	-	0.08	0.49	0.02	100.32
黄铁矿	ZK102-B11-5	FeS ₂	53.69	0.02	46.35	-	0.06	-	-	-	-	0.67	-	100.81
	ZK102-G7-6	Fe _{1.02} S ₂	52.84	-	47.11	0.04	-	-	0.03	-	0.06	0.74	-	100.84
	ZK102-G7-7	Fe _{1.03} S ₂	51.88	-	46.58	0.43	-	-	-	-	0.06	0.73	-	99.87
	ZK103-F11-2	Fe _{1.02} Mo _{0.01} S ₂	52.22	-	46.59	-	-	0.04	-	-	0.02	0.75	0.04	99.69
	G102-181-3	FeMo _{0.01} S ₂	52.18	-	44.95	0.54	0.04	0.11	-	-	-	0.68	-	98.57
辉钼矿	ZK102-F5-2	Mo _{0.86} S ₂	36.84	-	0.04	-	-	-	-	0.05	0.11	62.85	-	99.90
	ZK103-F11-1	Mo _{1.09} S ₂	38.77	0.02	0.09	-	-	0.10	-	0.16	0.02	63.05	-	102.25
毒砂	ZK102-G13-3	Fe _{0.93} As _{0.77} S	22.29	40.02	35.50	0.02	0.02	-	0.10	-	-	0.32	0.02	98.30
磁黄铁矿	ZK102-B11-6	Fe _{0.87} S	39.62	-	59.66	-	0.02	-	-	-	0.03	0.50	-	99.83

“ - ”表示含量 $\leq 0.01\%$, 矿物定名参照王璞等(1982)

表2 晚期矿化矿物成分的电子探针分析数据

 $w_B/\%$

Table 2 EPMA data of some minerals at the late ore-forming stage

矿物	样品号	化学分子式	S	As	Fe	Cu	Ag	Au	Te	Bi	Zn	Mo	Pb	Total
辉铜矿	ZK102-G7-4	Cu _{1.86} S	21.18	-	0.15	78.25	0.04	0.12	0.02	-	0.09	0.23	0.09	100.26
	G102-165(2)3	Cu _{1.94} Fe _{0.01} S	20.49	0.07	0.34	78.50	0.10	-	-	-	0.11	0.24	0.06	99.90
	G102-171-6	Bi _{2.42} Te ₂ Ag _{0.08} S	3.88	0.00	0.32	0.08	0.57	0.00	31.10	60.12	0.02	0.01	0.00	97.12
辉碲铋矿	G102-171-7	Bi _{2.15} Te _{2.08} S	4.13	0.00	0.27	0.17	0.33	0.00	34.27	58.41	0.03	0.05	0.00	98.75
	G102-171-11	Bi _{2.23} Te ₂ S	4.09	-	0.27	0.44	0.06	-	32.84	61.12	0.05	-	-	99.47
	G102-171-21	Bi _{1.8} Te _{1.67} S	4.84	0.00	0.11	0.21	0.45	0.00	32.43	57.01	0.03	0.00	0.00	95.63
碲碲铋矿	ZK102-F4-4	Bi _{4.25} Te _{2.38} S	2.55	-	-	-	0.04	-	23.39	71.99	0.02	-	-	98.66
	G102-165(1)2	Bi _{3.6} Te _{1.5} S	3.25	-	0.25	0.40	0.24	0.05	19.49	75.14	0.03	-	-	99.25
	G102-171-2	Bi _{3.2} Te _{2.2} S	3.18	0.00	0.26	0.43	0.00	0.00	27.90	67.41	0.07	0.00	0.00	99.99
碲-碲碲铋矿	ZK102-F4-3	Bi ₃ Te _{2.2} S ₂	6.51	-	-	0.02	0.02	0.04	27.79	62.06	0.02	-	-	97.02
叶碲铋矿	G102-171-5	Bi _{3.2} Te _{2.5}	0.08	-	0.23	0.23	0.12	-	31.57	66.50	0.02	-	-	99.52
	G102-171-12	Bi _{3.2} Te _{2.5}	-	-	0.02	0.03	-	-	31.57	66.15	0.10	-	-	98.37
碲铋铜矿	G102-171-14	Cu _{2.47} Bi _{0.87} Ag _{0.29} S ₃	19.76	0.00	1.27	32.53	6.41	0.00	0.09	37.68	0.07	0.13	0.00	98.19
	G102-171-9	Cu _{2.39} Bi _{0.94} Ag _{0.23} S ₃	20.46	0.00	1.57	32.34	5.75	0.00	0.01	41.48	0.09	0.20	0.00	101.97
	G102-171-4	Cu _{2.8} BiAg _{0.1} S ₃	19.14	0.00	0.53	35.48	2.38	0.00	0.06	41.69	0.05	0.19	0.00	99.64
	G102-171-23	Cu _{2.80} Bi _{0.98} Ag _{0.10} S ₃	19.44	0.08	0.31	36.22	1.71	-	0.03	41.54	0.13	0.25	-	99.72
	G102-171-17	Cu _{2.95} BiAg _{0.05} S ₃	19.14	-	0.47	37.71	0.54	-	-	41.90	0.07	0.13	-	100.18
自然铜	G102-165(2)4	Cu	-	-	0.04	95.82	0.04	-	-	0.02	0.11	-	0.04	96.08
自然铋	G102-171-20	Bi	0.05	-	0.15	0.33	0.30	0.03	0.70	97.79	0.07	-	-	99.45
碲银矿	G102-171-3	Ag ₂ Bi _{0.03} TeS _{0.07}	0.62	0.00	0.08	0.43	62.76	0.00	36.68	1.22	0.06	0.00	0.00	102.45
	G102-171-19	Ag _{1.90} Bi _{0.08} Te	0.09	-	0.08	0.20	59.07	-	37.09	2.88	-	0.02	-	99.66
	G102-171-22	Ag _{1.61} Te	0.11	-	0.11	0.32	57.17	0.02	41.62	0.15	-	0.02	-	99.51
铋-碲银矿*	G102-171-13	Ag _{2.45} Bi _{0.27} TeS _{0.45}	3.27	-	0.51	1.71	58.59	-	27.48	8.22	0.05	-	-	100.33
	G102-171-8	Ag _{2.27} Bi _{0.27} TeS _{0.59}	4.32	-	0.57	0.85	53.59	-	27.46	13.27	0.03	0.03	-	100.87
	G102-171-18	Ag _{2.17} Bi _{0.26} TeS _{0.48}	3.43	-	0.11	0.67	54.40	-	29.41	11.93	0.03	0.11	-	100.98
银-碲碲铋矿*	G102-171-15	Bi _{2.08} Ag _{0.75} TeS _{1.33}	5.22	-	0.64	1.38	9.83	-	30.85	51.67	0.06	0.05	-	100.89
银-碲碲铋矿	G102-171-16	Cu _{1.50} Bi _{1.03} Ag _{0.78} S ₃	18.47	-	1.56	18.67	16.12	-	0.06	41.23	0.02	0.22	-	96.52
银金矿	G102-171-10	Au _{0.64} Ag _{0.36}	0.09	-	0.26	0.43	23.00	74.12	0.09	0.71	0.05	-	-	98.79

“ - ”表示含量 $\leq 0.01\%$, 矿物定名参照王璞等(1982) , 加“*”的矿物尚未查出有文献记录 , 正在对其做进一步研究。

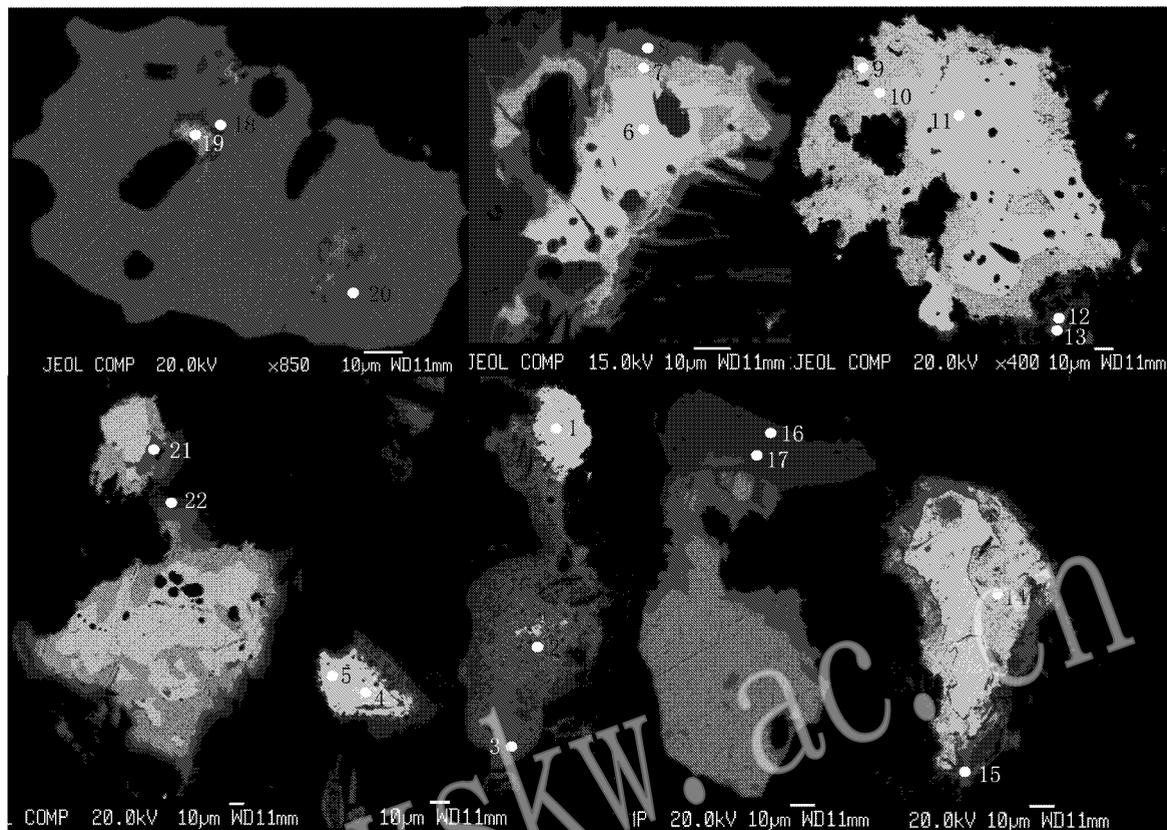


图2 样品 G102-171 中银矿物的背散射图像

Fig. 2 BSE images of silver-bearing minerals in sample G102-171

- 1—碲铋矿 ; 2, 18, 21—碲银矿 ; 3, 8, 13, 16, 22—硫铋铜矿 ; 4, 11—叶碲铋矿 ; 5, 6, 10, 20—辉碲铋矿 ; 7, 12, 17—铋—碲银矿 ;
9—银金矿 ; 14—银—辉碲铋矿 ; 15—银—硫铋铜矿 ; 19—自然铋
1—joseite ; 2, 18, 21—hessite ; 3, 8, 13, 16, 22—wittichenite ; 4, 11—pilsenite ; 5, 6, 10, 20—tetradymite ; 7, 12, 17—Bi-bearing hessite ;
9—electrum ; 14—Ag-bearing tetradymite ; 15—Ag-bearing wittichenite ; 19—bismuth

正在做深入研究。这些矿物常沿早期黄铜矿的裂隙交代, 辉铜矿有时形成黄铜矿的蚀变边。Te-Bi 矿物和 Au-Ag 矿物密切共生, 粒度细小, 常常交织生长在一起, 有时在光学显微镜下难以辨认, 需要借助于电子探针下的二次电子像(图2)。

本期矿化中金的独立矿物仅见几粒银金矿, 呈粒状分布于碲铋类矿物和黄铜矿内, 粒度 2~10 μm , 金和银含量分别为 74.12% 和 23.00%(表2)。银矿物种类众多, 都与碲铋类矿物共生(图2)。

4 结论

(1) 包古图斑岩铜矿为富金类型, Au 平均含量为 0.25 g/t, Ag 为 2.56 g/t, 是该矿床重要的伴生有益元素。

(2) 该矿床有两期矿化作用, 早期为斑岩铜矿

化, 组成矿体主体; 晚期为 Cu-Au-Ag-Te-Bi 矿化, 叠加在早期矿石之上, 起到有益元素加富作用。

(3) 早期矿化形成的矿石中普遍含金, 而银的含量较低, 金以固溶体形式赋存于 Cu-Fe 硫化物中, 其中黄铜矿是最主要的载金矿物。这期矿石中的金分布比较均匀, 基本不出现金的独立矿物。

(4) 晚期矿化形成种类繁多的金银矿物, 计有碲银矿、铋—碲银矿、银—辉碲铋矿、银—硫铋铜矿、(含银)硫铋铜矿、银金矿等。该期矿化规模不大, 但对于提高矿床的经济价值具有重要意义。

致谢 沈其韩院士、宋彪研究员和王彦斌研究员为本文提出了宝贵的修改意见, 张锐总工程师、成勇高级工程师及新疆有色地质勘察局的其他工作人员对本项目的野外工作给予了极大的帮助, 在此深表感谢。

References

- Ballantyne G H, Smith T W and Redmond P B. 1997. Distribution and mineralogy of gold and silver in the Bingham Canyon porphyry copper deposit, Utah [A]. John D A and Ballantyne G H. Geology and Ore Deposits of the Oquirrh and Wasatch Mountains, Utah [C]. USA : Society of Economic Geologists, 147~153.
- Cheng Yong and Zhang Rui. 2006. Mineralization regularity of Cu-Au deposits in the Baogutu area, Western Jungar, Xinjiang [J]. Geological Exploration, (74): 11~15 (in Chinese with English abstract).
- Grigore S, Stephen E K, Essene E J, et al. 2000. Gold in porphyry copper deposits: experimental determination of the distribution of gold in the Cu-Fe-S-Au system at 400°C to 700°C [J]. Economic Geology, 95: 259~270.
- Jones B K. 1992. Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems [J]. Journal of Geochemical Exploration, 43: 127~155.
- Kirkham R V and Sinclair W D. 1995. Porphyry copper, gold, molybdenum, tungsten, tin, silver [A]. Eckstrand O R, Sinclair W D and Thorpe R I. Geology of Canadian Mineral Deposit Types [C]. Canada: Geological Survey of Canada, 421~446.
- Mathur R, Ruiz J, Titley S, et al. 2000. Different crustal sources for Au-rich and Au-poor ores of the Grasberg Cu-Au porphyry deposit [J]. Earth and Planetary Science Letters, 183: 7~14.
- Rubin J N and Kyle J R. 1997. Precious metal distribution in porphyry, skarn and replacement-type ore deposits of the Ertsberg (Gunung Bijih) district, Irian Jaya, Indonesia [J]. Economic Geology, 92: 535~551.
- Shen Yuanchao and Jin Chengwei. 1993. The Relationships of Magma Activity and Gold Mineralization in West Junggar [M]. Beijing Geological Publishing House, 26~44 (in Chinese).
- Sillitoe R H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits [J]. Mineralium Deposita, 14: 161~174.
- Stanley C R, Holbek P M, Huyck H L O, et al. 1995. Geology of the Copper Mountain alkalic porphyry copper-gold deposits, Princeton, British Columbia [A]. Schroeter T G. Porphyry Deposits of the Northwestern Cordillera or North America [C]. Canada: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 537~564.
- Stephen E K. 1973. Copper, molybdenum and gold abundances in porphyry copper deposits [J]. Economic Geology, 68: 106~112.
- Stephen E K, Stephen L C and Grigore S. 2002. Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate [J]. Ore Geology Reviews, 21: 103~124.
- Wang Pu, Pan Zhaolu and Weng Lingbao. 1982. Systematic Mineralogy [M]. Beijing Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Lianchang, Wan Bo, Jiao Xuejun, et al. 2006. Characteristics and geological significance of adakitic rocks in copper-bearing porphyry in Baogutu, western Junggar [J]. Geology in China, 33: 626~631 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Rui, Zhang Yunxiao and Tong Gengsheng. 2005. Geological characteristics and origin of Baogutu copper deposit in Xinjiang [A]. 2005 Meeting of Chinese Science and Technology Association [C]. Urumchi, 1~6 (in Chinese).

附中文参考文献

- 成勇,张锐. 2006. 新疆西准包古图地区铜金矿成矿规律浅析 [J]. 地质与勘探, (74): 11~15.
- 沈远超,金成伟. 1993. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用 [M]. 北京地质出版社, 26~44.
- 王璞,潘兆橹,翁玲宝. 1982. 系统矿物学 [M]. 北京地质出版社.
- 张连昌,万博,焦学军,等. 2006. 西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义 [J]. 中国地质, 33: 626~631.
- 张锐,张云孝,佟更生. 2005. 新疆包古图铜矿地质特征及成因浅析 [A]. 中国科学技术协会 2005 年学术年会 [C]. 乌鲁木齐, 1~6.