

新疆包古图斑岩铜矿矿床地质特征^{*}

宋会侠^{1,3} 刘玉琳^{2**} 屈文俊⁴ 宋彪^{1,3} 张锐⁵ 成勇⁵

SONG HuiXia^{1,3}, LIU YuLin^{2**}, QU WenJun⁴, SONG Biao^{1,3}, ZHANG Rui⁵ and CHENG Yong⁵

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

2. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871

3. 北京离子探针中心, 北京 100037

4. 国家地质实验测试中心, 北京 100037

5. 新疆有色地质勘查局地质研究所, 乌鲁木齐 830000

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

3. Laboratory of SHRIMP Beijing, Beijing 100037, China

4. National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China

5. Geological Institute, Xinjiang Geoporation Bureau for Non-ferrous Metals, Urumchi 830000, China

2007-04-21 收稿, 2007-05-17 改回.

Song HX, Liu YL, Qu WJ, Song B, Zhang R and Cheng Y. 2007. Geological characters of Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8):1981-1988

Abstract The newly found Baogutu porphyry copper deposit is located at the west margin of Junggar basin and to the south of Dalabute fault. Our study object is the V intrusion, which is the main ore containing body. In this paper, mineralization, alteration zoning and mineral assemblages of the deposit are described. The researching to fluid inclusions shows the temperatures of the main mineralization epoch are between 180°C ~ 450°C and the formation pressures of the fluid inclusions are between 1 ~ 9MPa. So the corresponding emplacement depths of the V intrusion are between 100 ~ 600 m. The $\delta^{34}\text{S}$ of chalcopyrite and pyrite are varying between $-2.4\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$ and $-2.7\text{‰} \sim +0.7\text{‰}$, respectively, indicate sulfur of the ore came from mantle. According to the preliminary researching, we consider the mineralization process of the ore is that, the V intrusion has experienced two epoch ore-forming fluid activities in addition after the diagenesis of the adakitic magma came from mantle. The early epoch can be divided into four phases and Cu-Fe-Mo-Zn sulfides were formed. In the late epoch, compound minerals of Cu-Te-Bi-Au-Ag were formed. Re-Os age of molybdenite from the early epoch mineralization is 310Ma.

Key words Baogutu, Porphyry copper deposit, Geology of ore deposit, Fluid inclusion, Sulfur isotope

摘要 新发现的包古图斑岩铜矿床位于准噶尔盆地西缘, 达尔布特断裂以南的包古图地区。通过对V号主要赋矿岩体及钻孔岩心的野外和镜下观察, 研究了矿体矿化情况、蚀变分带特征和矿石组合。对该矿床的流体包裹体分类研究表明, 主成矿期成矿温度在180°C~450°C, 包裹体的形成压力多在1~9MPa。由此得出的斑岩体的侵位深度在100~600m。黄铜矿和黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围分别是 $-2.4\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$ 和 $-2.7\text{‰} \sim +0.7\text{‰}$ 。对该矿床的初步研究认为, 矿床是在埃达克质岩浆侵位到地壳浅部冷却成岩后, 经历了两期含矿热液的作用而成矿的。早期形成Cu、Fe、Mo、Zn的硫化物矿物, 可划分为4个成矿阶段; 晚期形成Cu-Te-Bi-Au-Ag的复杂矿物组合。早期矿化形成的辉钼矿Re-Os年龄是310Ma。

关键词 包古图; 斑岩铜矿; 矿床地质; 流体包裹体; 硫同位素

中图法分类号 P588.132; P618.41

* 地质调查项目(1212010531002)资助。

第一作者简介: 宋会侠, 女, 1982年生, 硕士研究生, 地球化学专业, E-mail: huixiasong@cags.net.cn

** 通讯作者: 刘玉琳, 男, 副教授, 矿床学与同位素地质年代学, E-mail: ylliu@pku.edu.cn

1 引言

最近几年中亚地区包括新疆北部的找矿勘探工作取得许多进展,发现了一些重要的新矿床,带动了该广大地区的地质找矿勘探工作(何国琦和朱永峰,2006; Zhu *et al.*, 2005, 2006a, b; 秦克章等,2007; 朱永峰,2007; 芮宗瑶等,1984; 张连昌等,2004)。包古图斑岩铜矿是近几年发现的一个中型矿床,它位于西准噶尔达拉布特断裂以南,克拉玛依市以西约35km处,普查已获得334₁级铜资源量111.5万吨^①。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。按出露面积大小将这些岩体依次编号,包古图斑岩铜矿主要产于V号岩体。许发军和夏方(2003),张锐等(2005,2006)和成勇和张锐(2006)等对该矿床的发现做了报道,并对区域地质和矿床地质做了研究,成勇和张锐(2006)还对矿床的成矿机制做了解析,张连昌等(2006)对该矿床的岩石地球化学性质做了研究。本文系统研究了V号主要赋矿岩体及钻孔岩心的矿化、蚀变分带特征和矿石组合以及流体包裹体,划分了成矿阶段,并在此基础上探讨了矿床的形成机制。

2 区域地质

克拉玛依市以西达拉布特断裂附近地区褶皱、断裂构造十分发育,表现为多组、多期次的空间分布及成因特征。主体结构由北东向的达拉布特断裂和希贝库拉斯复背斜构成。断裂构造早期以南北向大断裂为主,晚期以东向西小断裂为主,它们严格控制着区内地层、岩浆岩、构造形态及矿化类型的空间分布。次级构造以达拉布特断裂为界,北侧以北东向构造为主;南侧包括包古图矿区以南北向构造为主,矿区内地层、褶皱和断裂均以南北向为主。区内地层以石炭系为主,其中又以石炭统的太勒古拉组(C_{1t})、包古图组(C_{1b})和希贝库拉斯组(C_{1x})分布最为广泛,是一套巨厚的半深海—大陆坡相火山-碎屑沉积建造(沈远超和金成伟,1993)。太勒古拉组为杂色凝灰岩、凝灰质粉砂岩夹玄武岩、硅质岩;包古图组主要为灰-灰黑色薄层凝灰质粉砂岩和灰绿色凝灰岩互层;希贝库拉斯组主要为灰色厚层凝灰质砂岩、含砾砂岩和层凝灰岩。1:20万克拉玛依幅地质图及区域地质矿产报告^②给出这三个组从上到下依次为太勒古拉组、包古图组和希贝库拉斯组,沈远超和金成伟(1993)则认为相反,自上而下依次应为希贝库拉斯组、包古图组和太勒古拉组。最近在该地区识别出一套早古生代蛇绿岩带(徐新等,2006),与该蛇绿混杂岩伴生的枕状玄武岩含有寒武纪及其以前形成的锆石(SHRIMP U-Pb年龄,朱永峰等,2007)。因此,该地区的地层和构造背景还存在很大的不确定性。

区内侵入岩很发育,从超基性岩至酸性岩均有出露,是华力西中晚期岩浆活动的产物,以花岗岩为主。这些侵入体

主要呈岩基或岩株侵入于石炭纪地层中。侵入岩空间分布受断裂控制作用明显,花岗岩基主要出露于达尔布特断裂以北,侵入年龄为276~327Ma(韩宝福等,2006);石英闪长(斑)岩和花岗闪长(斑)岩小岩株主要出露于达拉布特断裂以南,侵入年龄为330~320Ma(沈远超和金成伟,1993)。

3 矿床地质

构成该矿床主体的V号含矿岩体位于达拉布特断裂以南约30km,希贝库拉斯复背斜东翼。岩体侵入于包古图下亚组凝灰岩和凝灰质粉砂岩中,出露面积约0.84km²,岩体周围地表及探槽中见有孔雀石化。V号岩体主要由花岗闪长岩和花岗闪长斑岩组成(见图1a),二者均主要由石英、斜长石、黑云母、角闪石和少量钾长石组成,化学成分差别不大。张连昌等(2006)给出斑岩体主量元素SiO₂、Al₂O₃和MgO的含量分别为57.29%~70.65%、14.98%~17.58%和0.46%~3.99%,Na₂O和K₂O的含量分别为4.09%~5.58%和1.12%~3.18%。

根据钻孔资料,该岩体呈现典型的全岩矿化特征,外接触带仅见有少量矿化。成矿元素主要是Cu-Mo-Au组合,总体分布规律是由岩体中心向边部Cu/Mo比值呈明显上升趋势,而Au的分布不均匀。新疆有色地质勘查局地质研究所“新疆托里县包古图地区斑岩型铜矿普查汇报”中给出的矿床铜品位是0.3%,伴生金含量约0.3g/t,另外伴生银、铅、锌等有益元素,可综合利用。

3.1 矿体特征

重点观察了ZK102和ZK103两个钻孔,结合新疆有色地质勘查局地质研究所的资料,绘制出了钻孔ZK102剖面图(见图1b)。该孔终孔深度为701m,其中铜品位>0.2%的含矿层有9层,累计厚度约为401m,铜品位>0.4%的含矿层10层,累计厚度为130m,反映出铜主要赋存于岩体中,且向下矿化加强。岩心下部40m为包古图下亚组凝灰岩,推测已打穿岩体。

3.2 蚀变分带特征

包古图铜矿床具典型的斑岩铜矿蚀变分带特征,由中心向外依次为钾化带、石英-绢云母化带、青盘岩化带和柱沸石-碳酸盐化带,呈环带状分布,各个蚀变带之间界线不清楚,相邻的蚀变带有时相互叠加。

钾化带位于蚀变带的最内部,蚀变矿物以钾长石和黑云母为主。钾长石有自形-半自形粒状、细脉状或呈细粒集合体

① “十五”地质行业各部门地质与找矿成果综述. 2006. 中国地质学会等主编

② 地质部新疆维吾尔自治区地质局区域地质测量大队. 1966. 中华人民共和国1:20万克拉玛依幅地质图及区域地质矿产报告

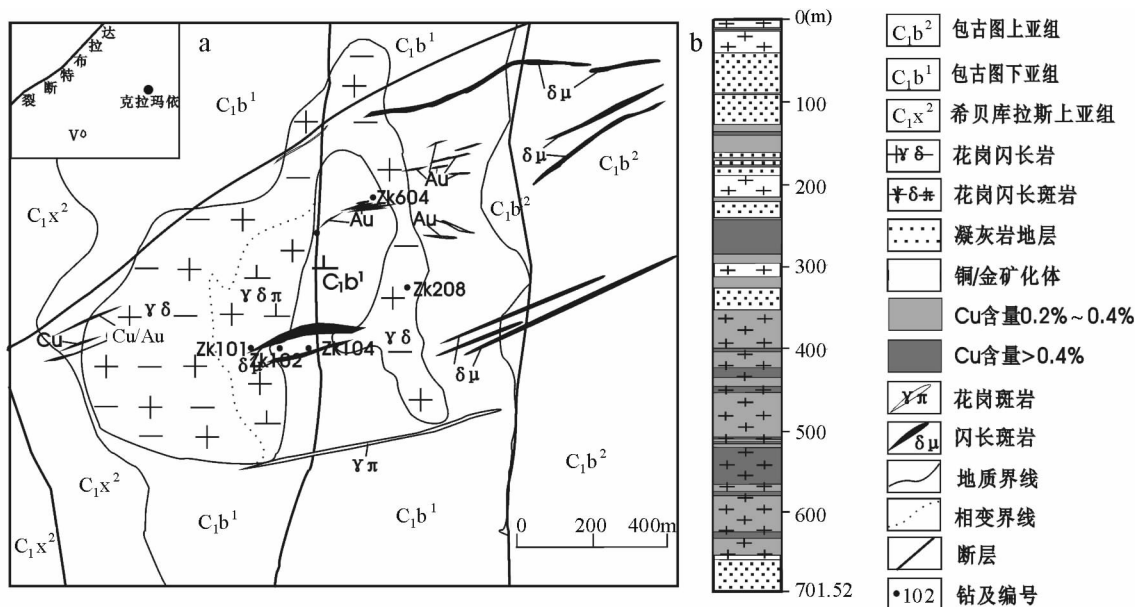
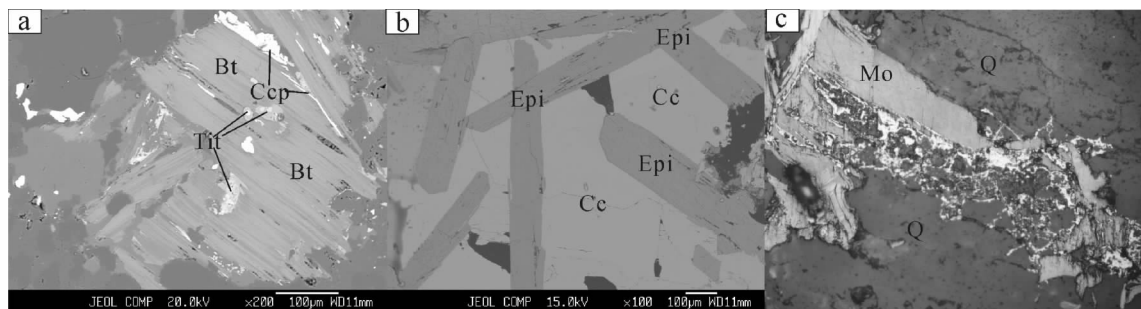


图1 包古图斑岩铜矿V号岩体矿床地质简图(a) (据新疆有色地质勘查局地质研究所)和钻孔ZK102剖面图(b)
Fig.1 a-Geological sketch map of Baogutu porphyry copper deposit (a) and Section of drill ZK102 (b)



Bt-黑云母 Tit-钛矿物 Ccp-黄铜矿 Epi-柱沸石 Cc-碳酸盐 Mo-辉钼矿 Q-石英

图2 a-黑云母中的钛矿物及黑云母与黄铜矿的共生结构, b-柱沸石-碳酸盐脉, c-石英脉中的辉钼矿
Fig.2 a-titanium-bearing minerals in biotite and intergrowth of biotite and chalcopyrite, b-epistilbite and carbonate vein, c-molybdenite in quartz vein

产出。自形程度较高的钾长石常出现于细脉状钾长石的两侧附近,粒度较粗;细脉状钾长石常与石英和黑云母共生,脉宽一般数毫米;细脉状钾长石多与次生石英一起组成不规则团块,呈他形不规则状。蚀变形成的钾长石与成岩期的长石在成分上有明显不同,前者为极富钾端元,钠和钙的含量都很低,而后者主要为中长石和奥长石(表1)。蚀变形成的黑云母呈不规则细片状,零星分布在钾化带中;有时组合为集合体,呈团块状出现,并与黄铁矿、黄铜矿等硫化物共生,有时可见黄铜矿充填在黑云母的解理内,形成共生结构(图2a)。目前尚未发现成岩期和成矿期黑云母的成分差别(如表1)。该蚀变带内硫化物矿物有黄铁矿、黄铜矿、毒砂和少量闪锌矿等。

蚀变过程中形成的次生石英,呈细粒他形,多围绕石英斑晶边缘生长而成为次生加大边,或呈脉状沿矿物解理和裂隙分布。绢云母化总体上不发育,主要见于长石表面,仅见少量呈细脉状。该蚀变带内的硫化物矿物为黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿等。

青盘岩化带的蚀变矿物以绿泥石和绿帘石为主。部分绿泥石和绿帘石呈片状或叶片状,生长在黑云母和角闪石斑晶上,由角闪石和黑云母蚀变生成,偶见有细小的金红石包体;另一部分与细粒的绢云母共生于长石斑晶表面,由长石蚀变生成。该蚀变带以黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿为主。

柱沸石-碳酸盐化形成较晚,多沿裂隙充填交代,呈脉状产出。柱沸石呈长柱状自形-半自形晶,与碳酸盐共生(图2b)。柱沸石成分如表1。

石英-绢云母化带蚀变矿物以石英和绢云母为主。热液

表 1 某些矿物的电子探针测试数据(wt%)

Table 1 EPMA data (wt%) of some minerals

样品编号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	总量	矿物名称
ZK102-B8-2	66.24	0.05	18.58	0.10	—	—	0.03	0.31	15.64	0.01	100.94	钾长石
ZK103-G40-3	66.20	—	17.94	0.01	—	0.00	0.02	0.31	16.09	—	100.57	钾长石
ZK103-G38-2	65.07	—	21.72	0.08	—	0.00	3.27	10.22	0.21	0.00	100.58	奥长石
ZK102-G14-1	59.31	0.04	24.11	0.23	0.01	0.00	6.27	8.30	0.23	0.01	98.52	奥长石
ZK102-F1-5	64.43	0.04	24.19	0.05	0.01	—	5.16	6.59	0.17	0.01	100.64	中长石
ZK103-G30-1	58.36	0.02	25.49	0.27	0.01	0.01	7.72	7.35	0.28	0.01	99.51	中长石
ZK103-G30-2	56.25	—	25.92	0.35	0.01	0.06	8.49	6.86	0.17	—	98.11	中长石
ZK103-G30-3	53.59	0.04	26.53	0.35	0.02	0.03	9.19	6.49	0.16	0.01	96.41	中长石
ZK102-G14-3	37.38	3.13	12.84	18.70	0.11	11.71	0.15	0.05	8.75	0.21	93.02	黑云母
ZK 102-B11-4	34.99	2.75	13.61	20.97	0.32	10.94	0.08	0.22	9.12	0.15	93.14	黑云母
ZK102-G8-1	52.46	0.11	30.58	0.69	0.04	2.16	0.08	0.11	9.06	—	95.29	绢云母
ZK103-G40-2	32.09	0.02	11.54	35.75	0.11	7.61	1.20	0.05	0.06	0.03	88.45	绿泥石
ZK102-F1-4	66.13	0.01	16.45	0.03	—	0.07	8.50	0.89	0.05	0.02	92.15	柱沸石
ZK103-G41-2	60.26	0.04	17.68	0.07	—	—	8.49	0.67	0.08	0.00	87.28	柱沸石
ZK 102-G19-1	0.20	98.69	—	0.18	0.03	0.03	0.09	—	0.11	0.07	99.39	金红石
ZK102-B8-4	0.15	96.54	0.00	0.71	—	—	0.86	0.01	0.04	0.03	98.35	金红石
ZK102-F5-5	5.30	48.82	0.17	37.93	1.81	0.09	4.35	—	0.11	0.04	98.62	钛铁矿
ZK004-B29-3	0.31	55.65	0.08	16.37	18.38	0.02	0.18	0.01	0.13	0.05	91.18	锰钛铁矿
ZK102-B8-5	30.84	36.98	1.79	0.79	0.00	0.01	28.26	0.02	0.08	0.03	98.79	楣石
ZK102-G16-3	30.43	37.02	1.44	0.29	0.00	0.10	28.92	0.01	0.03	0.02	98.25	楣石

东华理工学院核资源与环境教育部重点实验室分析

蚀变带内还见有较多的含钛矿物,如金红石、楣石、钛铁矿等,偶见锰钛铁矿(表1),它们常零星分布或产于铁镁矿物的内部(图2a)。

3.3 矿石组合及矿化富集规律

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%;镜下见微量自然铜、蓝辉铜矿、碲铋类矿物和金银矿物等。硫化物以细脉-浸染状矿化为主,少量呈细脉状。

依据矿物组合情况及包裹体测温结果,认为该矿床可分出两期流体成矿作用,早期主要为Cu、Fe、Mo、Zn的硫化物矿物组合,由矿脉穿切关系,早期矿化可进一步分出四个成矿阶段,矿物生成顺序及共生关系见图3。

阶段I为钾长石-黑云母阶段:高温富钾含矿热液交代花岗闪长(斑)岩,主要形成钾长石和黑云母。与之相关的硫化物矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿,呈细脉浸染状矿化,黄铜矿和闪锌矿的固溶体分离结构非常发育,通常为黄铜矿呈乳滴状分布于闪锌矿中。

阶段II为石英-硫化物阶段:含矿热液继续交代,形成石英及金属硫化物的共生组合。与之相关的硫化物主要为黄

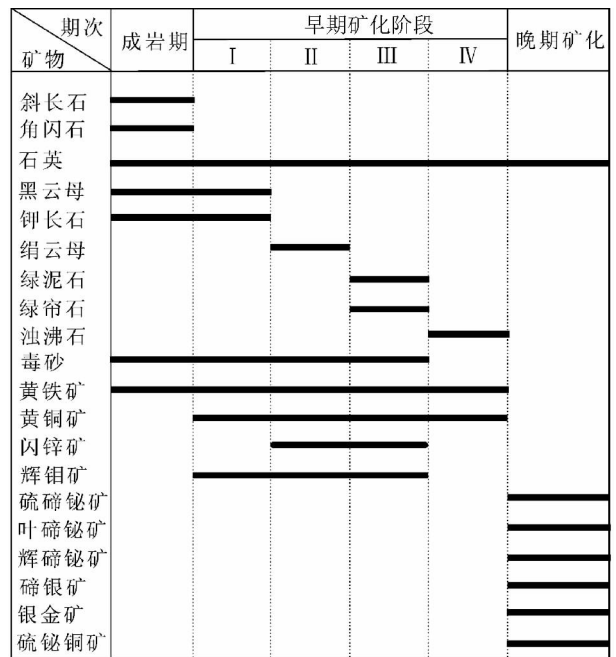


图3 矿物生成顺序及共生关系图

Fig. 3 Paragenetic sequence of mineralization in Baogutu deposit

铁矿、黄铜矿和辉钼矿等，呈脉状、浸染状矿化，见宽大的含矿石英脉。

阶段Ⅲ为绿泥石-绿帘石阶段：含矿热液进一步交代，形成绿泥石和绿帘石，分布于矿体边部或相邻围岩中。与之相关的硫化物矿物主要有黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿等。

阶段Ⅳ为柱沸石-碳酸盐阶段：形成少量含黄铁矿和黄铜矿的柱沸石-碳酸盐细脉。

晚期矿化形成 Cu-Te-Bi-Au-Ag 的复杂矿物组合，晚期流体作用于矿床的局部部位，对矿石起到加富作用，且形成了丰富的含 Te-Bi-Ag-Au 的矿物，电子探针测试有硫碲铋矿、辉碲铋矿、叶碲铋矿等碲铋类矿物和辉铋铜矿、碲银矿、银-硫铋铜矿、银金矿等(宋会侠等,2007)。

4 成矿特征

4.1 成矿流体特征

流体包裹体研究是矿床学中的重要方法(Zhu and Jiang, 2001; 卢焕章等,2004; 倪培等,2005)。通常在斑岩铜矿各蚀变矿化带内，所捕获的包裹体有中等盐度的液体包裹体、低盐度富二氧化碳包裹体和高盐度含子晶包裹体。包古图斑岩铜矿 V 号含矿岩体石英斑晶和石英脉中富含以上三种类型的流体包裹体。选择各类型代表性的包裹体进行温度

测试。类型 I 富液两相包裹体，选来进行测试的该类包裹体大小为 $4 \times 3 \mu\text{m}^2 \sim 20 \times 15 \mu\text{m}^2$ ，气泡体积 10% ~ 30%，呈椭圆状或具石英晶体负晶形，包裹体片中同时见大量较小的不易被测定的该类型的包裹体群；类型 II 富气两相包裹体，呈不规则状，包裹体大小为 $9 \times 6 \mu\text{m}^2 \sim 12 \times 8 \mu\text{m}^2$ ，气泡体积 60% ~ 90%，该类型数量较少；类型 III 具石盐子晶多相包裹体，呈椭圆形或具石英负晶形，大小为 $5 \times 4 \mu\text{m}^2 \sim 15 \times 11 \mu\text{m}^2$ ，气泡体积 5% ~ 20%，具有立方石盐子晶，该类型数量极少。

包裹体测温工作在中国地质科学院矿产资源研究所进行，所用仪器是英国产 Linkam THMSG 600 型显微冷热台。对于类型 I 和类型 II 的包裹体，先以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率降温至 -80°C 以冷冻包裹体，再以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 25°C ，之后以 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 0°C 并观察包裹体的变化，最后以 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率升温直到气泡即将均一，再将升温速率调为 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ ，直到包裹体均一，观察并记录各相变点的温度。对于类型 III 的包裹体，同时注意观察部分均一温度。测定时没有观测到有效的初始熔融温度。共测定了 80 组数据，以富液两相包裹体占多数。富液两相包裹体的盐度计算采用 Hall *et al.* (1988) 的公式，含子矿物多相包裹体的盐度计算参考刘斌(2001)，包裹体形成压力计算采用 Zhang and Frantz (1987) 的公式，密度计算参考卢焕章等(2004)。包裹体均一温度、盐度、形成压力和密度直方图见图 4a、4b、4c 和 4d。

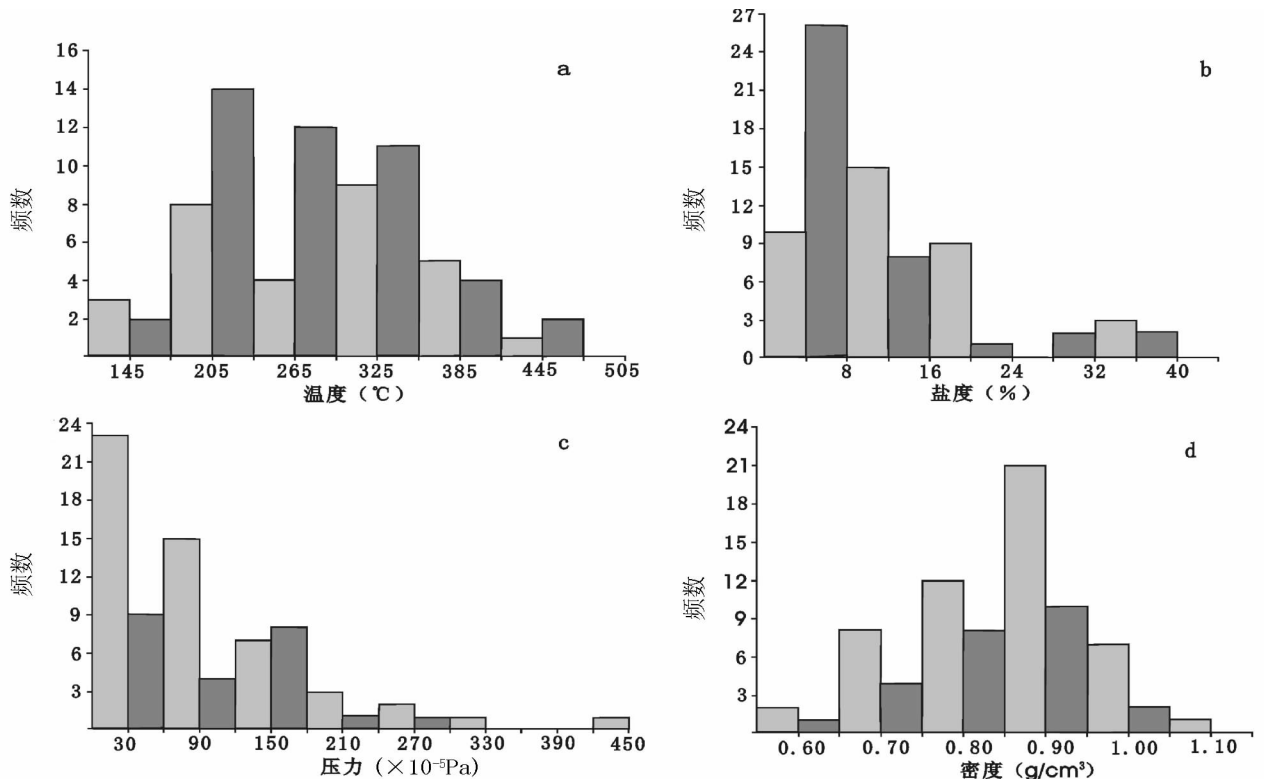


图4 a-包裹体均一温度直方图；b-包裹体盐度直方图；c-包裹体形成压力直方图；d-包裹体密度直方图

Fig.4 a-Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions, b-Histogram of salinity of fluid inclusions c-Histogram of formation pressure of fluid inclusions, d-Histogram of density of fluid inclusions

类型 I 包裹体的初始熔融温度和完全均一温度分别变化在 $-17.0^{\circ}\text{C} \sim -0.3^{\circ}\text{C}$ 和 $132^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 之间, 与之对应的盐度、包裹体密度和形成压力分别是 $20.2\% \sim 0.5\%$ 、 $0.98 \sim 0.55\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $0.45 \sim 43.0\text{MPa}$; 类型 II 包裹体的初始熔融温度和完全均一温度分别变化在 $-15.5^{\circ}\text{C} \sim -3.0^{\circ}\text{C}$ 和 $330.0^{\circ}\text{C} \sim 398.0^{\circ}\text{C}$ 之间, 与之对应的盐度、包裹体密度和形成压力分别是 $19.0\% \sim 5.0\%$ 、 $0.82 \sim 0.58\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $12.31 \sim 26.6\text{MPa}$; 类型 III 包裹体的初始熔融温度、部分均一温度和完全均一温度分别变化在 $-17.0^{\circ}\text{C} \sim -0.3^{\circ}\text{C}$ 、 $130.0^{\circ}\text{C} \sim 310.0^{\circ}\text{C}$ 和 $310.0^{\circ}\text{C} \sim 450.0^{\circ}\text{C}$, 与之对应的盐度、包裹体密度和形成压力分别是 $38.9\% \sim 28.9\%$ 、 $1.07\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.81\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $9.41 \sim 43.01\text{MPa}$ 。由测得的包裹体形成的最小压力和最大压力限制的斑岩体的侵位深度是 $100 \sim 600\text{m}$ 。

统计结果显示, 流体包裹体均一温度具有双峰, 对应的温度区间分别是 $185^{\circ}\text{C} \sim 235^{\circ}\text{C}$ 和 $265^{\circ}\text{C} \sim 355^{\circ}\text{C}$, 与显微镜下观察到的两期成矿作用相吻合。各类包裹体均一方式不同。富液两相包裹体通过气泡逐渐缩小至消失而均一, 部分气泡体积较大的富液两相包裹体通过液相与气相之间的界线消失而均一; 富气两相包裹体通过液相的消失而均一; 含子矿物多相包裹体均为子矿物先消失, 之后气泡消失而均一。由此可知包裹体多是从原始的不饱和溶液中捕获的, 部分来自于临界流体。多种不同类型的包裹体共存, 说明成矿流体经历了沸腾作用, 含自形黄铁矿和毒砂斑晶的爆破角砾的发现证明了沸腾作用的存在。流体的沸腾同时也有利于金属硫化物的沉淀, 也导致了包裹体的形成压力变化范围较大。

表 2 硫同位素测试结果 (‰)

Table 2 Value (‰) of $\delta^{34}\text{S}$ of sulfur isotope

样品号	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}(\text{‰})$
ZK101-188	黄铜矿	-2.4
ZK102-140	黄铜矿	-0.8
ZK102-218	黄铜矿	-1.4
ZK102-294	黄铜矿	-2.4
ZK101-158	黄铁矿	-2.7
ZK101-188	黄铁矿	-0.5
ZK102-140	黄铁矿	-1.0
ZK102-218	黄铁矿	-1.6
ZK102-294	黄铁矿	0.7

测定于中国地质科学院矿产资源研究所

表 3 辉钼矿 Re-Os 同位素数据 (国家地质实验测试中心分析)

Table 3 Re-Os isotope data of molybdenite from Baogutu Porphyry Deposit

样重 (g)	Re ($\times 10^{-9}$)		C 普 Os ($\times 10^{-9}$)		^{187}Re ($\times 10^{-9}$)		^{187}Os ($\times 10^{-9}$)		模式年龄 (Ma)	
	测定值	\pm	测定值	\pm	测定值	\pm	测定值	\pm	测定值	\pm
0.00161	576855	4620	0.001	0.065	362588	2904	1878.2	14.0	310.1	3.6
0.00180	600655	4903	0.001	0.058	377547	3082	1957.2	14.3	310.4	3.6

4.2 硫同位素特征

挑选钻孔 ZK101 和 ZK102 中的黄铜矿和黄铁矿单矿物用于测定其硫同位素组成, 测试结果见表 2。所测定的 4 组黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $-2.4\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$, 平均值是 -1.75‰ ; 5 组黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $-2.7\text{‰} \sim +0.7\text{‰}$, 平均值是 -1.02‰ 。硫同位素组成显示与德兴 (朱训等, 1983) 及多宝山斑岩铜矿最为相近, 其值与陨石硫接近, 指示来自于幔源。

采用 Ohmoto and Rye (1979) 的黄铁矿-黄铜矿硫化物对平衡温度计算式, 尝试计算了黄铁矿-黄铜矿的平衡温度是 484°C , 由此确定的成矿系统的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化于 $-0.8\text{‰} \sim -0.2\text{‰}$, 接近陨石硫, 也证实了硫元素来自于地幔。由矿物对计算出的平衡温度稍高于含子矿物包裹体的均一温度, 而一般认为测定的包裹体的均一温度稍低于成矿温度, 所以二者在指示成矿温度上具有一致性。

4.3 辉钼矿 Re-Os 年龄

所测辉钼矿采自钻孔 ZK202 岩芯 398 m 深度的含辉钼矿石英脉中。含辉钼矿石英脉形成于成矿阶段 II, 晚于主矿化阶段 (细脉浸染状矿化)。辉钼矿常见三种产状: 一种与黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿等共生, 一般为他形粒状; 第二种产于石英脉中, 粒度较粗 (图 2c); 第三种呈细粒薄膜状, 产于石英裂隙内, 其形成较晚。本次所测为粗粒辉钼矿, Re-Os 模式年龄为 310Ma (表 3)。其中, 模式年龄 t 按下式计算:

$$t = \frac{1}{\lambda} = \left[\ln \left(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

其中 λ (^{187}Re 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$, 测试流程见屈文俊和杜安道 (2003)。

5 结论

包古图具有形成斑岩型铜矿的构造背景, 区域的深大断裂为来自深部地幔的含矿岩浆的侵位创造了条件。我们认为, 该矿床是在富含铜、铁等矿物元素的埃达克质岩浆侵位到地壳浅部缓慢冷却成岩之后, 斑岩岩浆结晶后期的流体富集铜、铁等成矿物质, 形成了少量的自形、粒状黄铁矿和毒砂晶体, 之后岩体又经历了多期成矿流体的作用。由矿物组

合及流体包裹体测温结果,流体成矿作用可分出两期。早期为 Cu-Fe-Mo-Zn 硫化物组合,晚期是 Cu-Te-Bi-Au-Ag 矿化。统计的流体包裹体测温结果,指示了矿床主成矿期温度在 180°C ~ >450°C,与硫同位素指示的温度 484°C 一致。采自含辉钼矿石英脉中的辉钼矿模式年龄为 310Ma。

致谢 本论文的野外工作得到新疆有色地质勘查局地质研究所工作人员的大力帮助,沈其韩院士、王彦斌研究员和朱永峰教授提出了宝贵意见,在此表示感谢!

References

- Cheng Y and Zhang R. 2006. Mineralization regularity of Cu-Au deposits in the Baogutu area, Western Jungar, Xinjiang. *Geological Exploration*, 7(4): 11 - 15 (in Chinese with English abstract)
- Hall DL, Sterner SM and Bodnar RJ. 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Econ. Geol.*, 83: 197 - 202
- Han BF, Ji JQ, Song B *et al.* 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post collisional plutonism. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (5): 1077 - 1086 (in Chinese with English abstract)
- He GQ and Zhu YF. 2006. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions. *Geology in China*, 33(3): 451 - 460 (in Chinese with English abstract)
- Liu B. 2001. Density and isochoric formulae for NaCl-H₂O inclusions with medium and high salinity and their applications. *Geology Review*, 47(6): 617 - 622 (in Chinese with English abstract)
- Lu HZ, Fan HR, Ni P, Ou G, Shen K and Zhang W. 2004. Fluid inclusions. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Ni P, Tian JH, Zhu XT *et al.* 2005. Fluid inclusion studies on footwall stringer system mineralization of Yongping massive copper deposit, Jiangxi Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5): 1339 - 1346 (in Chinese with English abstract)
- Ohmoto H and Rye RO. 1979. Isotopes of sulfur and carbon. In: Barnes HL (ed). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York: John Wiley and Sons, 509 - 567
- Qin KZ, Ding KS, Xu YX *et al.* 2007. Ore potential of protoliths and modes of Co-Ni occurrence in Tulargen and Baishiquan Cu-Ni-Co deposit, East Tianshan, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 26(1): 1 - 14 (in Chinese with English abstract)
- Qu WJ and Du AD. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254 - 257 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Huang CK, Qi MG, Zhang J and Zhang HT. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Shen YC and Jin CW. 1993. The relationships of magma activity and gold mineralization in west Junggar. Beijing: Geological Publishing House. 26 - 44 (in Chinese)
- Song HX, Guo GL, Jiao XJ and Liu YL. 2007. The preliminary study on the state of the occurrence of associated Au and Ag in Baogutu porphyry copper deposit, Xinjiang Province, China. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(3): in press (in Chinese with English abstract)
- Xu FJ and Xia F. 2003. Geological characters of Baogutu porphyry copper deposit in Tuoli Country. *Xinjiang Non-ferrous*, (supp): 11 - 14 (in Chinese)
- Xu X, He GQ, Li HQ *et al.* 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic m. lange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. *Geology in China*, 33(3): 470 - 475 (in Chinese with English

abstract)

- Zhang LC, Qin K, Ying J, Xia B and Shu J. 2004. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 259 - 268 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LC, Wan B, Jiao XJ *et al.* 2006. Characteristics and geological significance of adakitic rocks in copper-bearing porphyry in Baogutu, western Junggar. *Geology in China*, 33(3): 626 - 631 (in Chinese with English abstract)
- Zhang R, Zhang YX and Tong GS. 2005. Geological characteristics and origin of Baogutu copper deposit in Xinjiang. 2005 meeting of Chinese Science and technology Association. Urumchi: 1 - 6 (in Chinese)
- Zhang R, Zhang YX, Tong GS, Wang J and Li LQ. 2006. Major breakthrough in copper exploration in the Baogutu porphyry copper deposit, western Junggar, Xinjiang, and its significance. *Geology in China*, 33(6): 1354 - 1360 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YG and Frantz JD. 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology*, 64: 335 - 350
- Zhu X, Huang C, Rui ZY, Zhou Y, Zhu X, Hu C and Mei Z. 1983. The geology of Dexing porphyry copper ore field. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English summary)
- Zhu YF and Jiang N. 2001. Geochemistry of the ore-forming fluids in gold deposits from the Taihang Mountains, Northern China. *International Geology Review*, 43: 457 - 473
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50: 2201 - 2212
- Zhu YF, Zhou J and Zeng YS. 2006a. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, west Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics. *Ore Geology Review*, 10(6): 1 - 29
- Zhu YF, Zeng YS, Gu LB *et al.* 2006b. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No.3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay mountains, northwest China. *Asian Earth Sciences*, 27: 61 - 77
- Zhu YF. 2007. Indosinian Movement and the Related Metallogeny in Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 26(5): 510 - 519
- Zhu YF, Xu Xin, Wei SH, Song B and Guo X. 2007. Geochemistry and tectonic significance of OIB-type pillow basalts in western Mts. of Keramay city (western Junggar), NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1739 - 1748 (in Chinese with English abstract)

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. *地质与勘探*, 7(4): 11 - 15
- 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(1): 后碰撞深成岩浆活动的时限. *岩石学报*, 22(5): 1077 - 1086
- 何国琦,朱永峰. 2006. 中国新疆及其临区地质矿产对比研究. *中国地质*, 33(3): 451 - 460
- 刘斌. 2001. 中高盐度 NaCl-H₂O 包裹体的密度式和等容式及其应用. *地质论评*, 47(6): 617 - 622
- 卢焕章,范宏瑞,倪培,欧光习,沈昆,张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社
- 倪培,田京辉,朱筱婷等. 2005. 江西永平铜矿下盘网脉状矿化的流

- 体包裹体研究. 岩石学报, 21(5):1339-1346
- 秦克章, 顶奎首, 许英霞等. 2007. 东天山图拉尔根、白石泉铜镍钴矿床钴、镍赋存状态及原岩含矿性研究. 矿床地质, 26(1): 1-14
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄, 岩矿测试, 22(4): 254-257
- 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京: 地质出版社
- 沈远超, 金成伟. 1993. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用. 北京: 地质出版社, 26-44
- 宋会侠, 郭国林, 焦学军, 刘玉琳. 2007. 新疆包古图斑岩铜矿伴生元素金和银赋存状态初步研究. 岩石矿物学杂志, 26(3) 出版中
- 许发军, 夏方. 2003. 托里县包古图斑岩型铜金矿地质特征. 新疆有色金属, (增刊): 11-14
- 徐新, 何国琦, 李华芹等. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. 中国地质, 33(3): 470-475
- 张连昌, 秦克章, 英基丰, 夏斌, 舒建生. 2004. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系. 岩石学报, 20(2): 259-268
- 张连昌, 万博, 焦学军, 张锐. 2006. 西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义. 中国地质, 33(3): 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. 中国科学技术协会 2005 年学术年会. 乌鲁木齐, 1-6
- 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. 中国地质, 33(6): 1354-1360
- 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 周耀华, 朱贤甲, 胡淙声, 梅占魁. 1983. 德兴斑岩铜矿. 北京: 地质出版社
- 朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿. 地质通报, 26(5): 510-519
- 朱永峰, 徐新, 魏少妮, 宋彪, 郭璇. 2007. 西准噶尔克拉玛依 OIB 型枕状玄武岩地球化学及其地质意义研究. 岩石学报, 23(7): 1739-1748