1000-0569/2009/025(03)-0645-49　　*Acta Petrologica Sinica*　岩石学报

包古图斑岩铜矿床的钛矿物特征及其成因意义*

魏斐[1]　刘玉琳[1**]　郭国林[2]　张锐[3]　张云孝[3]　汪疆[3]

WEI Fei[1], LIU YuLin[1**], GUO GuoLin[2], ZHANG Rui[3], ZHANG YunXiao[3] and WANG Jiang[3]

1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京大学,北京　100871
2. 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室,南昌　330013
3. 新疆有色地质勘查局地质研究所,乌鲁木齐　830000
1. *Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution*, *MOE*, *Peking University*, *Beijing* 100871, *China*
2. *Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment* (*East China Institute of Technology*), *MOE*, *Nanchang* 330013, *China*
3. *Xinjiang Institute of Nonferrous Geoexploration Bureau*, *Urumqi* 830000, *China*

2008-12-10 收稿, 2009-03-03 改回.

Wei F, Liu YL, Guo GL, Zhang R, Zhang YX and Wang J. 2009. Characteristics and genesis significance of Titanium minerals of Baogutu porphyry copper deposit, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3):645－649

Abstract　On the basis of observing a large number of thin sections, assemblage characteristics and formation mechanism of titanium minerals in Baogutu porphyry deposit were studied. The main titanium minerals are sphene, ilmenite and rutile. Sphene formed during both rock-forming and ore-forming period, but mainly found in the potassium alteration stage of early ore-forming period and coexist with K-feldspar and biotite, while relative low content of sphene also formed in the propylitization and zeolitization stages. Ilmenites developed in every alteration stages of ore-forming period in which most common in the potassium alteration stage, while rare formed in rock-forming period. Rutile is only found in the ore-forming period, in which it coexists with K-feldspar, biotite, and quartz in the early potassium alteration stage and also wrapped in sphene as fine grains. Rutile formed in propylitization stage too and intergrowth with chlorite. These titanium minerals are mostly found within biotite grain or nearby, which may be one characteristics of porphyry deposit. SiO_2 and CaO content of sphene is close to the theoretical value, while TiO_2 content is lower. All the ilmenites contain Mn, with a MnO content of 1.97 to 4.49 percent and manganese ilmenite is appeared (MnO content 18.38 percent). Rutile contains a certain amount of SiO_2 and FeO, with a small amount of Al_2O_3, MgO and P_2O_5 in some grains. Assemblage characteristics of titanium minerals shows that ore-bearing porphyry of Baogutu porphyry deposit belongs to I-type, forming at a high oxygen fugacity and not deep depth.

Key words　Baogutu; Porphyry copper deposit; Titanium minerals; Characteristics and genesis significance

摘　要　在大量薄片鉴定的基础上,本文对包古图斑岩铜矿的钛矿物组合特征及其形成机制进行了研究。主要钛矿物为榍石、钛铁矿和金红石。其中榍石在成岩期和成矿期均有形成,但主要见于成矿期的钾化阶段,与钾长石、黑云母共生;在后期的青盘岩化和沸石化阶段也有出现,但含量相对较少。成岩期的钛铁矿很少见,成矿期各蚀变阶段均有分布,但最常见于钾化阶段。金红石仅见于成矿期,钾化阶段早期可与钾长石、黑云母、石英等共生,还见有被榍石包裹的细粒金红石,青盘岩化阶段亦有形成,与绿泥石共生。这些钛矿物最常出现于黑云母颗粒内部或其附近,这可能是斑岩型矿床的特征之一。榍石SiO_2和 CaO 含量与理论值接近,TiO_2偏低;钛铁矿均含锰,MnO 含量 1.97% ~4.49%,还见有锰钛铁矿;金红石含有一定量的SiO_2和 FeO^T,个别颗粒还含有少量 Al_2O_3、MgO 和 P_2O_5。钛矿物组合特征表明包古图含矿斑岩为 I 型,形成于较高氧逸度环境,侵位深度不大。

关键词　包古图;斑岩铜矿;钛矿物;特征及成因意义

中图法分类号　P618.41; P578.44

---

* 国家重点基础发展规划项目课题(2007CB411305)和核资源与环境教育部重点实验室开放基金项目(081201)资助.

第一作者简介: 魏斐,女,1985 年生,硕士研究生,地球化学专业,E-mail:ccinder@sohu.com

** **通讯作者:**刘玉琳,男,1961 年生,副教授,矿床学和同位素地球化学,E-mail:ylliu@pku.edu.cn

副矿物特征可以反映成岩成矿的物理化学条件，是岩石和矿床成因类型划分的重要依据之一。有关岩浆岩副矿物的研究文献很多，研究内容主要是岩石成因与成岩物理化学条件(李俊杰，2005；陈鸣和张成江，1991；王德荫等，1990)，而矿床中的副矿物研究则很少。近几年来，斑岩铜矿中的副矿物研究受到重视，因为它们从岩浆期一直持续到热液期，因此其多样的矿物组合和成分特征对于示踪岩浆的演化和成矿过程有着更为重要的意义。Imai(2004)和姚春亮等(2007)对斑岩铜矿中的磷灰石进行过研究，认为岩浆期和成矿期的磷灰石在微量元素含量上有差异。Scott(2005)和Scott and Radford(2007)对澳大利亚 Northparkes 斑岩铜金矿床金红石的研究表明其大小和成分能够反映矿化作用强弱，从而可以作为找矿指示矿物。李金祥等(2008)对西藏班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床中金红石的研究得出了相近的结论。相比而言，钛矿物组合能够更灵敏地反映成岩成矿的环境变化。在大量薄片鉴定的基础上，我们发现包古图斑岩铜矿含矿斑岩具有较高的钛矿物含量和多样的矿物组合，其矿物学特征对成矿机制和找矿具有一定的指示意义。

1 矿床地质

包古图斑岩铜矿是西准噶尔地区近几年发现的一个中型矿床。许多研究者从不同侧面对矿床进行了研究，包括成矿地质背景、含矿斑岩特征、矿床地质特征和金银赋存状态等(张锐等，2006；成勇和张锐，2006；张连昌等，2006；宋会侠等，2007a, b)。矿区出露地层为下石炭统包古图组(C_1b)和希贝库拉斯组(C_1x)，是一套海相火山碎屑岩夹少量陆缘碎屑岩，地层时代约为332Ma(刘玉琳等，待刊)。含矿岩体为包古图Ⅴ号岩体，是一个以闪长岩为主并含有石英闪长岩、花岗闪长岩的复式小岩株，有花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩和闪长玢岩岩脉穿插其中(图1)，主岩体形成时代约为311Ma(刘玉琳等，待刊)。含矿斑岩具有埃达克岩性质(张连昌等，2006)。花岗闪长岩与石英闪长岩呈渐变关系，似斑状结构，斑晶以中长石和奥长石为主，钾长石、黑云母次之，少量角闪石，基质主要由长石和石英组成。岩石普遍蚀变，大致可以划分出钾长石-黑云母化带、石英-绢云母化带、青盘岩化带和沸石-碳酸盐化带等，蚀变矿物主要有钾长石、黑云母、石英、绢云母、水白云母、绿泥石、绿帘石、沸石和方解石等。该岩体基本为全岩矿化，主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、毒砂、磁黄铁矿及闪锌矿，另有少量的斑铜矿、辉铜矿、自然铜、赤铜矿、蓝辉铜矿以及一些碲铋类矿物等(宋会侠等，2007a)。金属矿物常呈浸染状和细脉状分布，成矿元素主要是Cu-Au(-Mo)组合。

2 主要钛矿物产状及矿物组合特征

包古图斑岩铜矿的主要钛矿物为榍石、金红石和钛铁矿，榍石可见于岩浆期和成矿期的各个热液蚀变阶段。钛铁矿和金红石则主要见于成矿期，并且主要形成于钾化阶段，与钾长石、黑云母等共生；有时为早期矿物如黑云母、榍石、磁铁矿等的蚀变产物。这几种钛矿物的主要特征分述如下。

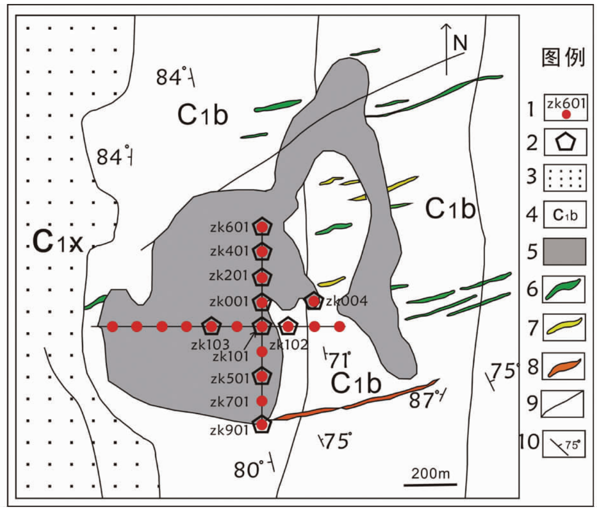

图1 包古图斑岩铜矿矿床地质和采样位置图

Fig. 1 Sketch geological map of Baogutu porphyry copper deposit and sampling positions

2.1 榍石

榍石在成岩期和成矿期均有形成，岩浆期榍石多为自形程度较高的信封状，粒径较粗大，一般0.5~1.5 mm，常与磷灰石、磁铁矿等共生，常见组合为：石英+斜长石+黑云母+榍石。成矿期榍石更为常见，一般呈他形粒状或多晶集合体存在，亦有少数呈细小自形晶体。

成矿期榍石有多种产状，主要形成于钾化阶段，与钾长石、黑云母共生(图2-a, b)，而且常包裹于黑云母的晶体内部。黑云母常经受后期蚀变，部分或全部变为绿泥石。常见组合有：石英+钾长石+黄铜矿+榍石(图2-a)，石英+黑云母(绿泥石)+榍石(图2-b)。在后期的碳酸盐化阶段和沸石-碳酸盐化阶段仍有榍石形成，常见组合为：绿泥石+方解石+黄铁矿+榍石(图2-c, d)，沸石+方解石+榍石(图2-e)。

成矿后期，在热液作用下黑云母蚀变为绿泥石，包裹在其中的榍石有时也遭受蚀变而出现钛铁矿或/和金红石(图2-f)。

2.2 钛铁矿

包古图斑岩铜矿中岩浆期钛铁矿很少见，偶尔有极少量细粒钛铁矿与磁铁矿共生，矿物组合为：石英+斜长石+角闪石+黑云母+磁铁矿+钛铁矿(图2-g)。成矿期钛铁矿主要形成于钾化阶段，常与黑云母、磁铁矿共生，主要组合：黑云母(绿泥石)+磁铁矿+钛铁矿±金红石(图2-h)。直到

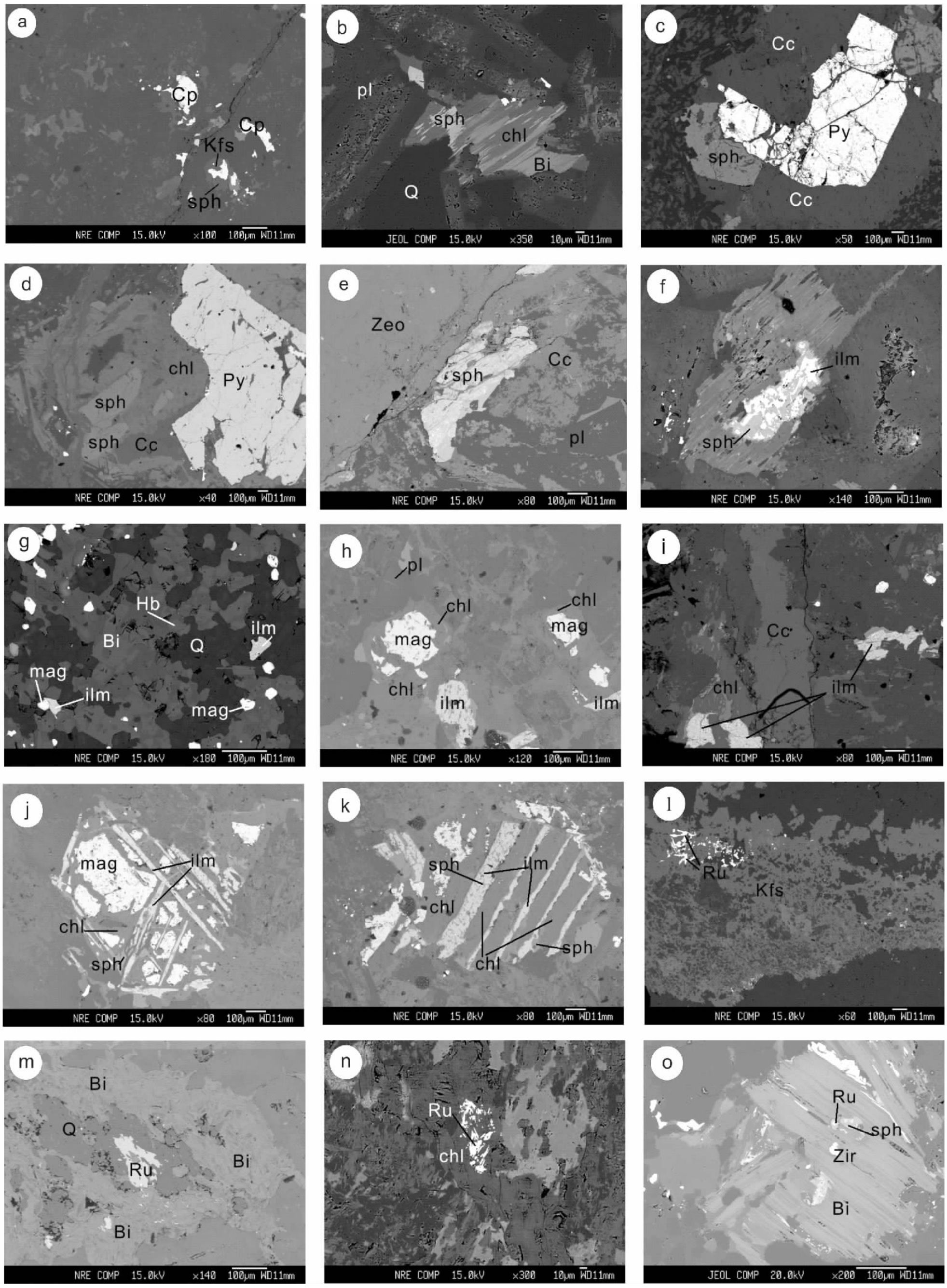

图 2　包古图斑岩铜矿中的钛矿物及组合

a-榍石与钾长石、黄铜矿共生；b-榍石与黑云母(绿泥石化)共生；c-榍石与黄铁矿、方解石共生；d-榍石与绿泥石、方解石、黄铁矿共生；e-榍石与斜长石、方解石、沸石共生；f-包含在黑云母中的榍石内部出溶钛铁矿；g-重结晶形成的糖粒结构中，磁铁矿与钛铁矿共生；h-磁铁矿、钛铁矿与绿泥石共生；i-钛铁矿与绿泥石、方解石共生；j-黑云母绿泥石化并保持假象，与磁铁矿、榍石共生，钛铁矿沿原黑云母裂隙充填；k-黑云母绿泥石化并保持假象，与钛铁矿、榍石共生，其中钛铁矿沿原黑云母裂隙充填；l-钾长石脉中的细粒针状金红石集合体；m-黑云母集合体附近出现的金红石；n-绿泥石脉中的细粒针状金红石集合体；o-黑云母颗粒中的金红石、榍石和锆石

Fig. 2　Titanium minerals and assemblages in Baogutu porphyry deposit

a-intergrowth of sphene with K-feldspar and chalcopyrite; b-intergrowth of sphene with biotite (chloritization); c-intergrowth of sphene with pyrite and calcite; d-intergrowth of sphene with chlorite, pyrite and calcite; e-intergrowth of sphene with plagioclase, calcite and zeolite; f-ilmenite exsolved from sphene; g-symbiotic magnetite and ilmenite; h-intergrowth of magnetite, chlorite and ilmenite; i-intergrowth of ilmenite with chlorite and calcite; j-intergrowth of sphene and magnetite in biotite (chloritization); k-fissure filling of ilmenite to biotite (chloritization); l-fine needle-like assemble of rutile in k feldspar vein; m-rutile formed in the vicinity of biotite; n-fine needle-like assemble of rutile in chlorite vein; o-rutile, zircon and sphene in biotite

表 1 包古图斑岩铜矿主要钛矿物的电子探针测试数据(wt%)

Table 1 EPMA data (wt%) of the accessory minerals in Baogutu poyphyry deposit

样品号	名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO^T	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Cr_2O_3	P_2O_5	F	ZrO_2	Total
ZK401-9C-1	钛铁矿	0.06	46.60	0.07	50.14	1.95	0.07	0.07	—	0.00	—	—	—	0.04	99.00
ZK001-6A-3	钛铁矿	0.07	48.42	0.06	49.39	2.18	0.07	0.15	0.02	0.01	0.05	—	—	0.08	100.5
ZK102-B11-1	钛铁矿	0.10	47.25	—	46.03	4.40	0.03	0.03	0.00	0.02	0.07	—	—	—	97.93
ZK004-B29-3	锰钛铁矿	0.31	55.65	0.08	16.37	18.38	0.02	0.18	0.01	0.13	0.05	—	—	—	91.18
ZK401-9C-2	榍石	30.14	33.59	3.47	1.86	0.10	—	29.18	0.01	—	—	0.04	0.28	0.01	98.69
ZK601-5	榍石	30.80	38.68	0.58	0.61	0.01	0.01	28.37	—	—	0.05	0.01	—	—	99.11
ZK102-B8-5	榍石	30.84	36.98	1.79	0.79	0.00	0.01	28.26	0.02	0.08	0.03	—	—	—	98.80
ZK102-G16-3	榍石	30.43	37.02	1.44	0.29	0.00	0.10	28.92	0.01	0.03	0.02	—	—	—	98.26
ZK501-10A-1	金红石	0.10	98.43	0.06	0.24	—	—	0.05	—	0.03	0.19	—	—	0.07	99.16
ZK401-9E-1	金红石	0.21	97.67	0.02	0.58	0.02	—	1.30	0.03	0.01	0.04	—	0.27	—	100.2
ZK102-G19-1	金红石	0.20	98.69	—	0.18	0.03	0.03	0.09	—	0.11	0.07	—	—	—	99.40
ZK102-F1-1	金红石	1.35	95.21	0.53	0.54	0.02	0.64	0.06	0.10	0.26	0.13	—	—	—	98.84
ZK102-B8-4	金红石	0.15	96.54	0.00	0.71	—	—	0.86	0.01	0.04	0.03	—	—	—	98.34

青盘岩化-碳酸盐化阶段仍有钛铁矿形成,矿物组合为:方解石+绿泥石+钛铁矿(图 2-i)。

成矿早阶段形成的角闪石、黑云母、榍石等在后期热液作用下会蚀变形成绿泥石和钛铁矿,蚀变矿物有时保持先期矿物的假像,新形成的钛铁矿充填角闪石和黑云母的解理,呈菱形格子状和平行条带状(图 2-j,k),常见组合为:绿泥石+钛铁矿+榍石±磁铁矿。

2.3 金红石

是含铜斑岩中一种重要的副矿物,其含量、颗粒大小、成分等特征对于主矿体位置和勘探找矿具有一定的指示意义(李金祥等,2008)。

该矿床中未见到岩浆期金红石,其主要形成于钾化阶段,常与钾长石、黑云母共生,主要矿物组合为:石英+钾长石+金红石(图 2-l),石英+黑云母+金红石(图 2-m)。成矿作用晚期的绿泥石化阶段仍有金红石形成(图 2-n)。还见到黑云母中榍石包裹金红石的现象(图 2-o)。

3 钛矿物的成分特征

样品取自包古图斑岩铜矿 V 号岩体的钻孔岩心,首先磨制光薄片进行光学显微镜观察,然后选取样品点在东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室进行电子探针测试,探针型号 JXA-8100,测试加速电压 15.0kV,束流 2.00×10^{-8},束斑直径 100μm,仪器检测极限为 0.01%。

包古图斑岩铜矿的榍石与理论值(SiO_2 30.6%,TiO_2 40.8%,CaO 28.6%)比较,SiO_2 和 CaO 含量比较接近,TiO_2 偏低,普遍含有一定量的 Al_2O_3 和 FeO^T。钛铁矿均含锰,MnO 含量 1.97% ~4.49%(规一化值),还出现了锰钛铁矿。金红石大多比较纯净,但含有一定量的 SiO_2 和 FeO^T,个别颗粒还含有少量 Al_2O_3、MgO 和 P_2O_5(表 1)。

4 讨论

包古图斑岩铜矿的钛矿物主要是榍石、钛铁矿和金红石,其中,榍石可形成于成岩和成矿的各个阶段,但主要形成于钾化阶段;钛铁矿在成岩期偶见,金红石则仅见于成矿期。

镜下鉴定发现,磁铁矿也是该矿床成岩期的常见副矿物。根据成岩期副矿物以磁铁矿为主,而钛铁矿很少出现的事实,可以判定该岩体为 I 型花岗岩。

磁铁矿+榍石组合代表硅质熔浆结晶时具有较高的氧逸度(陈鸣和张成江,1991),可以认为存在如下反应方程式:

$$6FeTiO_3 + 6CaCO_3 + 6SiO_2 + O_2 = 2Fe_3O_4 + 6CaTiSiO_5 + 6CO_2$$

钛铁矿 磁铁矿 榍石

可以看出,当具有较高氧逸度时,反应向右进行,从而出现磁铁矿+榍石组合,而不形成金红石。含矿斑岩都具有较高的氧逸度,这已成为公认的事实,这与我们观察到的现象是吻合的。

金红石从岩浆中结晶需要很高的压力条件,对于埃达克质岩浆来说通常需要 1.3 ~ 1.5GPa(Emst, 1998; Frost, 1991),而斑岩铜矿形成于较浅部,因此成岩期不出现金红石。

成矿早期的钾化蚀变阶段,岩浆岩的主要矿物均已结晶,只剩下富含挥发份的残余岩浆。TiO_2 在残余岩浆中相对富集,黑云母中较高的 Ti 含量(可达 TiO_2 3.8% ~4.28%)可以证明这一点(宋会侠等,2007b)。在钾化阶段的早期形成了钾长石+黑云母+榍石组合。随着成矿作用的进行,高温汽水导致裂隙扩张和隐爆作用,体系变得开放,流体对流循环导致更多大气降水的加入,从而进一步降低了体系的氧逸度,这使得黑云母和榍石不再稳定,而蚀变为绿泥石和钛铁矿。在成矿作用早期,由于高温汽水流体的存在导致暂时性出现高温高压条件,从而可以形成细粒的金红石,但随之而来的隐爆或断层活化使压力骤然降低,不再满足金红石的形成条件,而为低压条件下稳定的榍石所代替,这可能就是榍石颗粒内部包含细小金红石的形成机制。到成矿作用晚期,早期形成的钛矿物受到热液蚀变,TiO_2 游离出来,形成金红石。由于 Ti 与 Fe 的地球化学相似性,钛矿物与黑云母的亲合性比钾长石强,因此钾化阶段的钛矿物常出现于黑云母晶体内部或其附近,西藏多不杂斑岩铜矿也观察到这一现象

(李金祥等,2008)。

5 结论

(1)包古图斑岩铜矿床含矿斑岩中的主要钛矿物为榍石、钛铁矿和金红石。其中,榍石在成岩期和成矿期均可形成;钛铁矿主要见于成矿期,极少量见于成岩期;金红石仅见于成矿期。

(2)所有钛矿物都主要形成于成矿早期的钾化阶段,与钾长石、黑云母共生,而且主要出现在黑云母颗粒中及其附近,这可能是斑岩型矿床等特征之一,对于勘探找矿具有一定的指示意义。

(3)包古图含矿斑岩的钛矿物特征可以证明其为I型花岗岩,岩浆结晶时氧逸度较高,成矿深度不大,但在钾化阶段的早期由于高温汽水作用曾有短暂的高压状态。

References

Chen M and Zhang J. 1991. The relationship between the assemblages of Fe-Ti accessory mineral and oxygen fugacity in the granitoid of south China. Acta Petrologica Sinica, 2: 89 – 94 (in Chinese with English abstract)

Cheng Y and Zhang R. 2006. Mineralization regularity of Cu-Au deposits in the Baogutu area, western Junggar, Xinjiang. Geology and Prospecting, 42(4): 11 – 15 (in Chinese with English abstract)

Emst WG and Liu J. 1998. Experimental phase equilibrium study of Al and Ti-contents of calcic amphibole in MORB-A semiquantitative thermobarometer. American Mineralogist, 83:952 – 969

Frost BR. 1991. Stability of oxide minerals in metamorphic rocks . In: Lindsley DH (ed.). Oxide Minerals: Petrological and Magnetic Significance . Reviews in Mineralogy, 25:469 – 488

Imai A. 2004. Variation of Cl and SO_3 contents of microphenocrystic apatite in intemediate to silicic igneous rocks of Cenozoic Japanese island arcs: Implications for porphyry Cu metallogenesis in the Western Pacific Island arcs. Resource Geology, 54(3): 357 – 372

Li JJ. 2005. Geological characteristics and tectonic significance of Gonghuduge granite rock body in Siziwnagqi, inner Mongolia. Geology and Resources, 14(2): 103 – 107(in Chinese with English abstract)

Li JX, Qin KZ, Li GM, Xiao B, Zhang TP and Lei XG . 2008. Characteristics of rutiles from Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in Bangong Lake Belt of northern Tibet and their significance. Mineral Deposits, 27(2):209 – 219(in Chinese with English abstract)

Scott KM. 2005. Rutile geochemistry as a guide to porphyry Cu Au mineralization, Northparkes, New South Wales, Australia. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 5:247 – 253

Scott KM and Radford NW. 2007. Rutile compositions at the Big Bell Au deposit as a guide for exploration. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 7:353 – 361

Song HX, Guo GL, Jiao XJ and Liu YL. 2007a. A preliminary study of the modes of occurrence of associated Au and Ag in the Baogutu porphyry copper deposit, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. Acta Petrologica Et Mineralogica, 26 (4): 329 – 334 (in Chinese with English abstract)

Song HX, Liu YL, Qu WJ, Song B, Zhang R and Cheng Y. 2007b. Geological characters of Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang, NW China. Acta Petrologica Sinica, 23(7): 1891 – 1988 (in Chinese with English abstract)

Wang DY, Chen M and Zhang CJ. 1990. The Fe-Ti accessory minerals in granitoids and their genetic significance. Journal of Chengdu College of Geology, 17(4): 46 – 52(in Chinese)

Yao CL, Lu JJ and Guo WM. 2007. Composition difference between three generations of apatite from tongchang porphyry copper deposit, Jiangxi Province, southeast China. Acta Mineralogica Sinica, 27 (1): 31 – 40(in Chinese with English abstract)

Zhang LC, Wan B, Jiao XI and Zhang R. 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, Dong 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)

附中文参考文献

陈鸣，张成江. 1991. 华南花岗岩类中铁钛副矿物组合与氧逸度关系. 岩石学报，2 :89 – 94

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

李金祥，秦克章，李光明等. 2008. 西藏班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床中金红石的特征及意义. 矿床地质,27(2):209 – 219

李俊杰. 2005. 吉黑东部花岗岩类中副矿物锆石、磷灰石、榍石的初步研究. 地质与资源，14(2): 103 – 107

宋会侠，郭国林，焦学军，刘玉琳. 2007a. 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(4):329 – 334

宋会侠，刘玉琳，屈文俊，宋彪，张锐. 2007b. 新疆包古图斑岩铜矿矿床地质特征. 岩石学报,23(8):1981 – 1987

王德荫，陈鸣，张成江. 1990. 花岗岩类中的铁、钛副矿物及其成因意义. 成都地质学院学报，17(4): 46 – 52

姚春亮，陆建军，郭维民. 2007. 江西省铜厂斑岩铜矿磷灰石世代和成分特征研究. 矿物学报，27(1): 31 – 40

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，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