

文章编号: 0254-5357(2016)04-0440-08

DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2016.04.017

西藏邦铺斑岩钼(铜)矿床钾硅酸盐化热液黑云母电子探针分析及早期成矿流体特征

王 勇¹, 唐菊兴², 王立强^{2*}

- (1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
2. 国土资源部成矿作用和资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 热液黑云母的化学组成对于揭示早期成矿流体的物理化学性质和流体演化过程具有重要意义。邦铺矿床是冈底斯成矿带东段一个大型的斑岩型钼(铜)矿床,其钾硅酸盐化蚀变带内热液黑云母广泛发育,本文对采自该矿床闪长玢岩钾硅酸盐化蚀变带内的热液黑云母进行了电子探针分析。结果表明,热液黑云母的SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、FeO^T、MgO 和 K₂O 等主要氧化物的平均含量为 38.95%、1.42%、13.55%、14.22%、16.23% 和 9.77%,具有明显的高镁低铁、高钾低钠钙等特征,且异常高的 K/Na 值(82.5)可能是指示斑岩型钼矿化的重要指标。依据化学组成估算热液黑云母结晶时流体的氧逸度和温度,显示钾硅酸盐化蚀变带内早期成矿流体具有高温、高氧逸度特征,且深部流体平均温度(458℃)明显高于浅部流体(366℃),成矿流体从深部向浅部运移的过程中,温度和压力逐渐降低,导致钼、铜硫化物从流体中析出从而成矿。该成果为进一步研究矿床成矿流体的演化和成矿机制提供了重要线索。

关键词: 热液黑云母; 电子探针; 物理化学条件; 斑岩型矿床; 邦铺

中图分类号: P578.959; P575.1 **文献标识码:** A

明确斑岩型矿床钾硅酸盐化蚀变带内早期成矿流体的温度、氧逸度等物理化学特征对研究斑岩型矿床成矿元素的萃取、运移和沉淀具有重要意义。热液黑云母作为斑岩型矿床中主要的钾化蚀变矿物之一,对其进行化学成分研究是揭示斑岩型矿床早期热液流体的物理化学特征以及流体演化过程^[1-3]的一种极为有效的手段。

电子探针分析技术由于其工作量大,分析周期短且不需要破坏样品,常被应用于热液黑云母成分的研究中。目前,对斑岩型矿床中热液黑云母的研究主要是运用电子探针分析和同位素分析来揭示热液黑云母中 F、Cl、OH 等挥发份的含量以指示矿床不同蚀变带中成矿流体的挥发份变化^[4],以及利用与钾长石、石英共生的热液黑云母的化学成分来估算成矿流体的温度^[5]和氧逸度^[6],并在此基础上探讨成矿流体的活动期次与演化过程。邦铺钼(铜)矿床作为西藏冈

底斯成矿带东段一个十分重要的以钼成矿为主的斑岩型矿床^[7],其钾硅酸盐化蚀变带内早期的成矿流体特征对于明确以钼矿化为主的斑岩型矿床的成矿机制有重要意义。然而,目前关于矿床钾硅酸盐化蚀变带内早期成矿流体特征的研究角度较为单一^[8-12],且未考虑流体的深度。因此,本文选取邦铺矿床钾化蚀变带内不同产出位置的热液黑云母进行电子探针分析,以揭示钾硅酸盐化蚀过程中流体的温度、氧逸度等特征。并在此基础上,通过对比邦铺与国内外典型斑岩型矿床钾硅酸盐化蚀变带内热液黑云母的化学组成,探究钼矿化为主的斑岩型矿床热液黑云母的标型特征。

1 矿床地质特征

邦铺钼铜矿床位于冈底斯成矿带东段,与甲玛超大型铜多金属矿床相邻,行政区划上隶属于墨竹工

收稿日期: 2015-11-24; 修回日期: 2016-04-13; 接受日期: 2016-07-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41403040); 中国地质调查局地质调查项目(12120115028301); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(K1416)

作者简介: 王勇,硕士研究生,矿产普查与勘探专业。E-mail: 309492701@qq.com。

通讯作者: 王立强,博士,副研究员,从事矿床学、矿床地球化学及区域成矿规律研究。E-mail: wlq060301@163.com

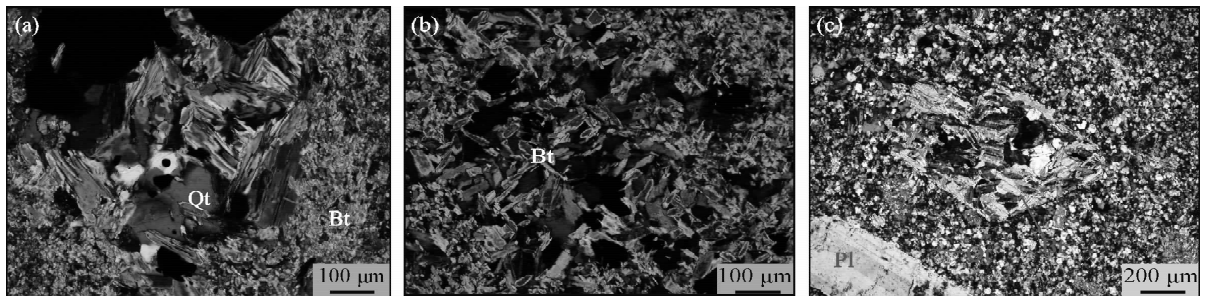
卡县。矿区内出露的地层主要为下二叠统洛巴堆组(P_1l)凝灰岩、火山角砾岩,古近系典中组(E_1d)凝灰岩及第四系。矿区内构造主要表现为近东西向的断层,侵入岩主要包括黑云母二长花岗岩、二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、石英二长斑岩、闪长玢岩和辉绿玢岩等,与成矿关系密切的主要为二长花岗斑岩和闪长玢岩。

邦铺斑岩型钼(铜)矿床主要由赋存于二长花岗斑岩中的斑岩型钼(铜)矿体、产于闪长玢岩及上覆典中组围岩中的斑岩型铜(钼)矿体组成。矿床围岩蚀变及分带特征明显,从斑(玢)岩体中心向外依次可以划分为钾硅酸盐化蚀变带、黄铁绢英岩化蚀变带(局部为泥化蚀变)、青磐岩化蚀变带。钾硅酸盐化蚀变为邦铺钼(铜)矿床最早期的蚀变类型,主要表现为钾长石和黑云母的大量产出并伴随着硬石膏、石英等矿物的广泛发育。其中,黑云母化稍晚于钾长石化形成,在二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩以及闪长玢岩中均有发育,是闪长玢岩中最主要的钾化形式。

2 实验部分

2.1 样品采集与分析

钾硅酸盐化蚀变带中热液黑云母样品全部采自矿区东部闪长玢岩钻孔岩心(ZK5203、ZK5205),其中ZK5203号岩心的采样深度分别为520.7 m、620 m,ZK5205号岩心的采样深度分别为230.7 m、550.7 m和620 m。显微镜下,热液蚀变黑云母主要呈半自形鳞片状(图1b),脉状或弥散状产出。单偏光显微镜下呈浅黄褐色,正交偏光显微镜下呈褐色-紫红色。由于粒度较细小,其节理缝不易观察,局部可见其被后期石英交代(图1a)。且在显微镜下可观测到热液黑云母交代原生黑云母或角闪石形成的交代残余结构及交代假象结构(图1a、c)。



Bt—黑云母;Qt—石英;Pl—斜长石。
图1 邦铺热液黑云母镜下照片(+)
Fig. 1 Microphotographs of hydrothermal biotite in Bangpu(+)

2.2 实验分析

样品在显微镜下进行系统的观察和鉴定之后,选择典型的热液黑云母进行电子探针分析,分析测试在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室完成。仪器采用日本电子JOEL公司生产的JXA 823V型电子探针分析仪,实验过程中加速电压为15 kV,束流为20 nA,束斑直径为5 μm 。

3 结果与讨论

3.1 邦铺热液黑云母组分特征研究

3.1.1 邦铺热液黑云母的化学组成特征

热液黑云母的电子探针成分测试结果列于表1。其中 SiO_2 含量为34.98%~40.7%,平均值为38.95%; TiO_2 含量为0.87%~2.37%,平均值为1.42%; Al_2O_3 含量为11.9%~15.49%,平均值为13.55%; FeO^{T} 含量为10.12%~18.43%,平均值为14.22%; MgO 含量为13.47%~18.64%,平均值为16.23%; K_2O 含量为7.96%~9.77%,平均值为9.77%。分析结果显示,相对于岩浆黑云母化学成分^[14],邦铺热液黑云母具有较高的 MgO 含量和相对较低的 FeO^{T} 含量。在Foster(1960)^[15]提出的云母矿物分类图解上,邦铺热液黑云母中除一个样品点(ZK5203-620-D9)落在金云母区域内,其余29个点均落在镁质黑云母范围内(图2a)。

前人研究表明,若黑云母中化学成分中 $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 值较均一,则说明黑云母在形成之后基本未遭受后期流体的改造^[16-17]。根据采样深度可将邦铺热液黑云母分为两组:A组采自深度230 m,B组采自深度550~620 m。A组13个黑云母测点的 $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 值主要集中于0.309~0.416之间,仅有一值为0.156,平均值为0.369;B组17个测点的 $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 值变化范围为0.218~

表 1 邦铺矿床钾硅酸盐蚀变带内热液黑云母电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analyses of hydrothermal biotite in the potassic alteration of the Bangpu deposit

组分	ZK5205													ZK5203																		
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	
SiO ₂	38.1	38.64	38.17	37.3	39.15	39.69	39.86	39.05	38.44	38.98	38.58	39.4	34.98	39.564	39.08	39.76	38.98	38.92	39.91	39.61	40.65	38.32	38.25	38.73	39.34	39.24	40.03	38.06	38.83	40.78		
TiO ₂	1.23	1.06	1.25	1.28	1.31	1.46	1.4	1.9	2.13	2.15	2.37	2.27	1.13	1.242	1.1	1.12	1.13	1.36	1.16	1.35	1.03	1.06	2.06	1.01	1.13	1.24	1.45	1.83	1.4	0.87		
Al ₂ O ₃	14.28	14.11	14	14.91	12.47	12.73	12.7	12.58	13.1	13.4	13.41	13.31	15.49	14.418	14.73	13.58	13.67	13.28	13.52	13.44	13.73	13.77	12.89	13.65	13.25	13.79	13.02	13.98	13.47	11.9		
FeO ^T	17.21	17.16	16.99	18.43	15.43	15.84	15.83	16.25	17.09	16.17	16.18	15.47	17.77	10.418	10.51	10.32	10.12	12.63	12.47	12.21	13.2	13.43	13.47	12.7	12.99	12.95	12.5	14.99	13.69	12.12		
MnO	0.17	0.11	0.15	0.16	0.13	0.11	0.11	0.13	0.14	0.09	0.12	0.14	0.23	0.052	0.11	0.08	0	0.11	0.05	0.16	0.07	0.16	0.18	0.1	0.08	0.12	0.14	0.1	0.12	0.1		
MgO	14.78	14.77	14.58	13.47	15.96	15.55	16.04	14.75	14.32	14.35	13.77	14.05	16.56	18.114	17.88	18.54	18.6	17.26	17.29	17.27	17.4	16.76	15.68	16.62	17.59	16.68	17.6	15.57	16.36	18.64		
CaO	0.06	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.04	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.003	0.02	0.07	0	0.07	0.11	0.25	0	0.01	0.11	0.05	0.06	0.05	0.01	0.04	0	0.03		
Na ₂ O	0.05	0.08	0.05	0.08	0.08	0.09	0.1	0.03	0.07	0.07	0.09	0.07	0.04	0.23	0.26	0.29	0.28	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.13	0.08	0.05	0.06	0.06	0.07	0.03	0.09		
K ₂ O	9.35	9.61	9.56	9.43	9.15	9.1	9.09	9.39	9.54	9.12	9.21	9.09	7.2	9.517	9.6	9.35	9.35	9.36	9.34	9.35	9.42	9.69	9.34	9.74	9.57	9.77	9.73	9.64	9.74	9.3		
根据 22 个阳离子占位计算阳离子数																																
Si	2.871	2.973	2.962	2.913	2.937	2.932	2.972	2.678	2.872	2.901	2.891	2.837	2.969	2.923	2.902	2.954	2.926	2.93	2.966	2.953	2.988	2.903	2.979	2.939	2.94	2.939	2.968	2.874	2.93	3.032		
Al ^{IV}	1.129	1.027	1.038	1.087	1.063	1.068	1.028	1.322	1.128	1.099	1.109	1.163	1.031	1.077	1.098	1.046	1.074	1.07	1.034	1.047	1.012	1.097	1.021	1.061	1.06	1.061	1.032	1.126	1.07	0.968		
Al ^{VI}	0.046	0.09	0.087	0.083	0.128	0.133	0.156	0.077	0.14	0.149	0.141	0.173	0.083	0.179	0.192	0.142	0.136	0.109	0.15	0.135	0.147	0.132	0.163	0.16	0.108	0.156	0.106	0.118	0.128	0.074		
Ti	0.086	0.079	0.108	0.121	0.122	0.135	0.129	0.065	0.07	0.06	0.071	0.073	0.075	0.069	0.061	0.063	0.064	0.077	0.065	0.076	0.057	0.06	0.121	0.058	0.064	0.07	0.081	0.104	0.079	0.049		
Fe ³⁺	0.226	0.076	0.034	0.105	0.055	0.026	0.035	0.788	0.108	0.019	0.049	0.088	0.07	0.071	0.091	0.068	0.017	0.034	0.067	0.057	0.051	0.019	0.342	0.094	0.034	0.068	0.008	0.094	0.001	0.009		
Fe ²⁺	0.81	0.912	0.997	0.978	0.964	1.002	0.942	0.35	0.977	1.058	1.027	1.085	0.909	0.573	0.561	0.573	0.618	0.762	0.708	0.704	0.761	0.832	0.535	0.712	0.778	0.743	0.767	0.852	0.863	0.745		
Mn	0.007	0.007	0.008	0.009	0.006	0.008	0.009	0.015	0.011	0.007	0.01	0.01	0.008	0.003	0.007	0.005	0	0.007	0.003	0.01	0.004	0.01	0.012	0.006	0.005	0.008	0.009	0.006	0.008	0.006		
Mg	1.814	1.784	1.668	1.618	1.612	1.56	1.58	1.889	1.661	1.653	1.646	1.527	1.804	1.995	1.979	2.053	2.082	1.937	1.916	1.92	1.907	1.892	1.821	1.88	1.96	1.862	1.945	1.753	1.84	2.066		
Ca	0.005	0.003	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0.001	0.006	0	0.005	0.009	0.02	0	0.001	0.015	0.004	0.005	0.004	0.001	0.003	0	0.002		
Na	0.014	0.014	0.004	0.01	0.01	0.014	0.01	0.005	0.007	0.012	0.007	0.012	0.012	0.033	0.038	0.042	0.04	0.02	0.021	0.017	0.016	0.015	0.017	0.012	0.007	0.009	0.009	0.01	0.004	0.013		
K	0.909	0.865	0.909	0.922	0.877	0.893	0.875	0.703	0.899	0.92	0.924	0.915	0.885	0.897	0.91	0.886	0.896	0.899	0.885	0.89	0.883	0.936	0.013	0.943	0.913	0.934	0.92	0.929	0.938	0.882		
Al ^{VI} +Fe ³⁺ +Ti	0.358	0.245	0.229	0.309	0.305	0.294	0.32	0.93	0.318	0.228	0.261	0.334	0.228	0.319	0.344	0.273	0.217	0.22	0.282	0.268	0.255	0.211	0.626	0.312	0.206	0.294	0.195	0.316	0.208	0.132		
Fe ³⁺ +Mn	0.817	0.919	1.005	0.987	0.97	1.01	0.951	0.365	0.988	1.065	1.037	1.095	0.917	0.576	0.568	0.578	0.618	0.769	0.711	0.714	0.765	0.842	0.547	0.718	0.783	0.751	0.776	0.858	0.871	0.751		
θ(°C)	363	338	339	310	406	423	394	369	355	353	343	346	423	492	490	514	533	464	451	457	437	422	409	448	466	437	461	401	403	497		
采样深度(m)	220.4																620															

注:阳离子含量由 Miac + 软件(Yavus,2003) [13] 计算获得,温度根据 Beane [5] 计算得出。

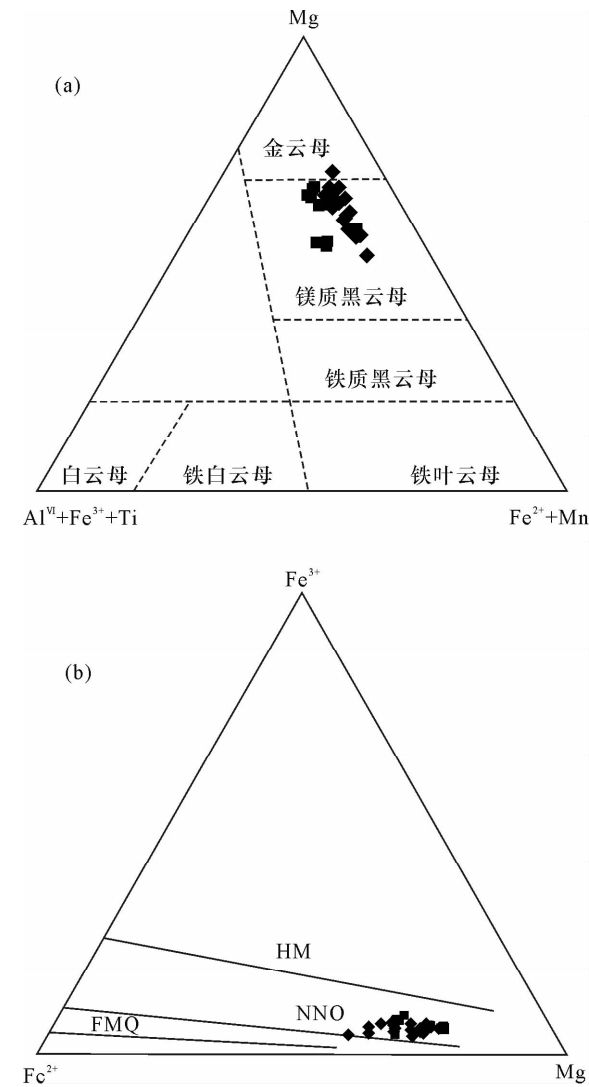


图 2 (a)邦铺热液黑云母 $\text{Fe}^{2+}-\text{Mg}-\text{Al}^{\text{VI}}+\text{Fe}^{3+}+\text{Ti}$ 分类图解;(b) $\text{Mg}-\text{Fe}^{3+}-\text{Fe}^{2+}$ 图解(底图 a、b 分别源自参考文献[15]和[6])

Fig. 2 (a) $\text{Fe}^{2+}-\text{Mg}-\text{Al}^{\text{VI}}+\text{Fe}^{3+}+\text{Ti}$ classification of hydrothermal biotite in Bangpu; (b) $\text{Mg}-\text{Fe}^{3+}-\text{Fe}^{2+}$ diagram of hydrothermal biotite in Bangpu (a,b is from Reference [15] and [6], respectively)

0.327,平均值为 0.269。可见两组黑云母的 $\text{Fe}^{2+}/(\text{Mg}^{2+}+\text{Fe}^{2+})$ 值均比较均一,说明邦铺热液黑云母形成之后基本未遭受后期流体改造。

3.1.2 邦铺热液黑云母与国内外典型矿床热液黑云母成分对比

斑岩型矿床中黑云母的 Mg/Fe 、 K/Na 值是判别斑岩矿床成矿与否的重要指标,前人总结与矿化有关的黑云母的 Mg/Fe 值一般大于 0.5, K/Na 值一般在 10 以上^[14]。邦铺热液黑云母相关组分具有较高的 Mg/Fe 、 K/Na 值(表 2),指示出邦铺矿床具有良好的成矿特性,与地质事实一致。

对比伊朗 Dali 斑岩型 $\text{Cu}-\text{Mo}-\text{Au}$ 矿床^[1]、伊朗 Kahang 斑岩型 $\text{Cu}-\text{Mo}$ 矿床^[3]、美国新墨西哥 Santa Rita 斑岩型 Cu 矿床^[18]、伊朗 Maher-Abad 斑岩型 $\text{Cu}-\text{Au}$ 矿床^[19] 和我国黑龙江多宝山斑岩型 $\text{Cu}-\text{Mo}$ 矿床^[14]、西藏雄村斑岩型 $\text{Cu}-\text{Au}$ 矿床^[20] 等国内外大型斑岩型矿床钾硅酸盐化蚀变带内热液黑云母的化学组成(表 2)可以发现,与斑岩型矿床钾硅酸盐化蚀变有关的热液黑云母均具有较高的 Mg/Fe 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 和 K/Na 值,且云母类型主要为 Mg 质黑云母,仅雄村有部分热液黑云母为金云母,这可能与热液黑云母遭受了后期蚀变^[20] 有关。而且不同矿化类型的斑岩型矿床,其钾化蚀变带内的热液黑云母的化学组分具有较大差异,以 $\text{Cu}-\text{Au}$ 和 Cu 矿化为主的热液黑云母的 K/Na 和 Mg/Fe 值相对较高(K/Na 值高于 25, Mg/Fe 值高于 1.9),以 $\text{Cu}-\text{Mo}$ 矿化为主的热液黑云母的 K/Na 值相对较低(低于 20),而邦铺作为以 Mo 矿化为主的斑岩型矿床,其热液黑云母的 Mg/Fe 、 Al/Fe 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值介于 $\text{Cu}-\text{Au}$ 矿化和 $\text{Cu}-\text{Mo}$ 矿化的矿床之间,但其 K/Na 值(82.52)异常高。因此,本文认为高 K/Na 值在一定程度上是斑岩型钼(铜)矿床的重要判别指标。这一发现在一定程度上完善了斑岩型矿床中热液黑云母的矿物标型特征。

3.2 热液黑云母形成的物理化学环境

作为斑岩型钼(铜)矿床中最重要的钾硅酸盐化蚀变矿物之一,热液蚀变成因黑云母常被用来指示斑岩成矿系统中早期热液流体的物理化学性质及环境变化^[1,3-4,21]。

黑云母的化学成分在一定程度上可以反映热液系统氧逸度等物理化学环境^[6,22]。Wones 等^[6] 提出黑云母的 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 含量可以反映黑云母结晶时的氧逸度。将邦铺热液黑云母相应化学组分投影在 $\text{Fe}^{3+}-\text{Fe}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$ 图解上(图 2b),可以观察到矿床中所有热液黑云母样品点均位于 $\text{NNO}(\text{Ni}-\text{NiO})$ 缓冲线与 $\text{HM}(\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Fe}_3\text{O}_4)$ 缓冲线之间,且靠近 $\text{NNO}(\text{Ni}-\text{NiO})$ 缓冲线,表明热液黑云母结晶时流体的氧逸度较高。另外,前人的研究成果表明,黑云母中六次配位 Al 离子的含量亦可指示其形成时的氧逸度环境^[23],低含量(小于 0.245)的六次配位 Al 离子(Al^{VI})指示其形成时的环境具有较高的氧逸度^[23]。通过计算获得邦铺矿床钾硅酸盐化蚀变带热液黑云母的 Al^{VI} 含量介于 0.046~0.192 之间,明显低于 0.245,同样指示了邦铺钾硅酸盐化蚀变带过程中流体具有较高的氧逸度。

表2 国内外典型斑岩型矿床中热液黑云母成分对比

Table 2 Typical hydrothermal biotite compositions in porphyry deposits at home and abroad

矿床名称	矿床规模	矿化类型	含矿斑岩岩性	云母类型	样品数量	元素含量比值					参考文献
						Mg/Fe	Al/Fe	K/Na	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Si/Al	
Dalli	大型	Cu – Mo – Au	英安玢岩	镁质黑云母	6	2.17	1.56	19.37	2.82	2.16	[1]
Kahang	大型	Cu – Mo	花岗闪长斑岩	镁质黑云母	18	2.2	1.42	18.85	2.92	5.01	[3]
Santa Rita	大型	Cu	黑云母花岗闪长斑岩	镁质黑云母	65	1.93	1.37	29.67	4.56	2.34	[18]
Maher – Abad	大型	Cu – Au	花岗闪长岩	镁质黑云母	3	2.49	1.68	25.3	5.44	2.06	[19]
多宝山	大型	Cu – Mo	花岗闪长岩	镁质黑云母	12	0.52	0.7	–	7.5	2.08	[14]
雄村	大型	Cu – Au	石英闪长玢岩	镁质黑云母 – 金云母	17	3.86	2.64	48.15	33.62	0.51	[20]
邦铺	大型	Mo(Cu)	闪长玢岩	镁质黑云母	30	2.13	1.38	82.52	10.29	2.44	本文

注:多宝山矿床相关数据引自文献[14],该文献中未给出 K/Na 值。

Beane^[5]提出与钾长石、磁铁矿共生的热液黑云母可以作为斑岩型矿床中钾硅酸盐化带的地质温度计。邦铺矿床钾硅酸盐化蚀变带内黑云母常与蚀变钾长石和磁铁矿共生,满足温度计算要求。根据热液黑云母化学组分计算出的成矿流体温度为 309 ~ 533℃,这一温度估算结果进一步说明了矿床钾硅酸盐化蚀变过程中流体具有高温特征,与邦铺钼(铜)矿床钾硅酸盐化蚀变带内石英 – 黑云母 – 黄铁矿 – 黄铜矿脉流体包裹体均一温度测试结果基本一致(320 ~ 550℃)^[12]。进一步研究发现,计算得到的温度亦可以分为两组(A组、B组):A组热液黑云母的结晶温度为 309 ~ 423℃,平均结晶温度为 366℃;B组热液黑云母的结晶温度为 401 ~ 533℃,平均结晶温度为 458℃(图3)。其中,结晶温度较低的A组样品均取自钻孔 ZK5205 的 230.4 m 深处,结晶温度较高的 B 组样品分别取自钻孔 ZK5205 的 550.7 m、620 m 以及 ZK5203 的 550.7 m、620 m 深处。两组热液黑云母的结晶温度均相对较高,但是结晶温度差值较大(92℃),表明成矿流体在从钾硅酸盐化蚀变中心往外运移过程中温度逐渐降低,而且成矿流体的温度降低会促进铜、钼硫化物的析出^[24-25],因此成矿流体温度降低的方向在一定程度上指示了矿化的方向。

3.3 早期流体特征对成矿的指示

前人的研究表明,高的氧逸度是斑岩型矿床形成的关键因素之一^[26-27]。这是因为在高氧逸度的情况下,硫多以 SO₂的形式溶解在硅酸盐熔体中,岩浆中没有过饱和硫的产生。所以在岩浆演化过程中亲硫元素(Cu、Mo)逐步富集于熔体相,最终进入流体相,从而有利于矿床的形成^[27]。邦铺钼(铜)矿床钾硅酸盐化蚀变带内热液黑云母的相关化学成分图解(图2b)及结晶温度估算结果表明,矿床早期成矿

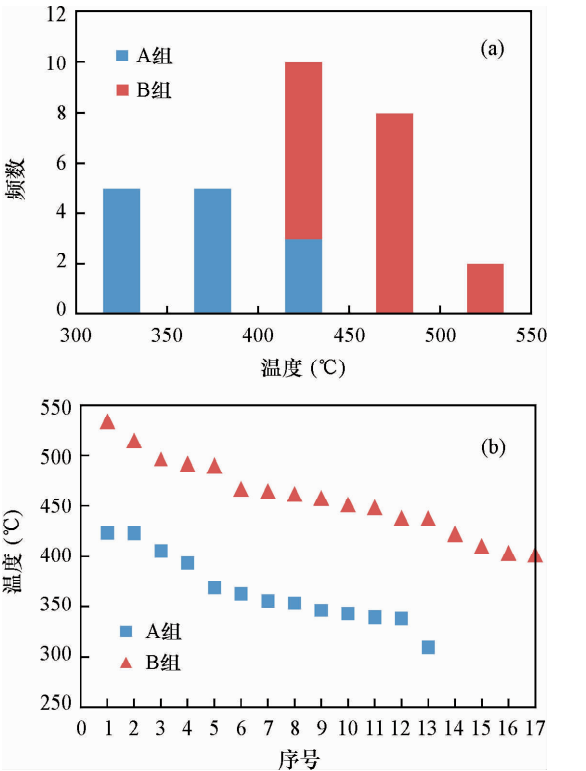


图3 邦铺矿床钾化蚀变带内 A、B 两组热液黑云母结晶温度分布图

Fig. 3 The crystallization temperature of the A and B group hydrothermal biotite in the Bangpu deposit's potassic alteration

流体具有高温、高氧逸度特征,这为成矿元素的运移和萃取提供了必不可少的物理化学条件,对成矿十分有利。

4 结论

电子探针分析结果表明,邦铺钼铜矿床钾硅酸盐化蚀变内的热液黑云母主要为镁质黑云母,Fe²⁺/(Mg + Fe²⁺)值较均一,在形成之后基本未受到后期

流体的改造。主要元素含量表现出高钾低钠、高镁低铁的特征,指示较好的矿化。通过对比国内外不同矿化元素组合的著名斑岩型矿床热液黑云母化学组分,发现以钼矿化为主的斑岩型矿床钾硅酸盐化蚀变带内的热液黑云母具有异常高的K/Na值,从而完善了斑岩型矿床中热液黑云母的矿物标型特征。根据热液黑云母化学成分估算出矿床钾硅酸盐化蚀变带内早期成矿流体的氧逸度较高,温度为309~533℃,且深部流体的温度明显高于浅部,此成果对于进一步研究成矿流体的演化路径和成矿作用过程提供了重要的线索。

5 参考文献

- [1] Ayati F, Yavuz F, Noghreyan M, et al. Chemical Characteristics and Composition of Hydrothermal Biotite from the Dalli Porphyry Copper Prospect, Arak, Central Province of Iran[J]. *Mineralogy Petrology*, 2008, 94(1): 107–122.
- [2] Bath A B, Walshe J L, Cloutier J, et al. Biotite and Apatite as Tools for Tracking Pathways of Oxidized Fluids in the Archean East Repulse Gold Deposit, Australia [J]. *Economic Geology*, 2013, 108(4): 667–690.
- [3] Afshooni S Z, Mirnejad H, Esmaeily D, et al. Mineral Chemistry of Hydrothermal Biotite from the Kahang Porphyry Copper Deposit (NE Isfahan), Central Province of Iran[J]. *Ore Geology Reviews*, 2013, 54(32): 214–232.
- [4] Parsapoor A, Khalili M, Tepley F, et al. Mineral Chemistry and Isotopic Composition of Magmatic, Re-equilibrated and Hydrothermal Biotites from Darreh-Zar Porphyry Copper Deposit, Kerman (Southeast of Iran) [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 66: 200–218.
- [5] Beane R E. Biotite Stability in the Porphyry Copper Environment[J]. *Economic Geology*, 1974, 69(2): 241–256.
- [6] Wones D R, Eugster H P. Stability of Biotite; Experiment, Theory and Application [J]. *American Mineralogist*, 1965, 50(9): 1228–1272.
- [7] 赵晓燕, 杨竹森, 刘英超, 等. 西藏邦铺斑岩矽卡岩矿床二长花岗斑岩 Sr–Nd–Pb–Hf 同位素及闪锌矿黄铁矿 Rb–Sr 等时线年龄研究[J]. *地质学报*, 2015, 89(3): 522–533.
Zhao X Y, Yang Z S, Liu Y C, et al. Sr–Nd–Pb–Hf Isotope of Porphyritic Monzogranite and Rb–Sr Isochron Age of Sphalerite–Pyrite at the Bangpu Porphyry–Skarn Deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(3): 522–533.
- [8] 王立强, 唐菊兴, 王登红, 等. 西藏墨竹工卡县邦铺钼(铜)矿床辉钼矿稀土–微量元素特征及对成矿流体性质的指示[J]. *地质论评*, 2012, 58(5): 887–892.
Wang L Q, Tang J X, Wang D H, et al. Rare Earth Element and Trace Element Features of Molybdenite in Bangpu Mo (Cu) Deposit, Maizhokunggar, Xizang (Tibet), and Their Constraints on the Nature of Ore-forming Fluid [J]. *Geological Review*, 2012, 58(5): 887–892.
- [9] Wang L Q, Tang J X, Cheng W B, et al. Origin of the Ore-forming Fluids and Metals of the Bangpu Porphyry Mo–Cu Deposit of Tibet, China: Constraints from He–Ar, H–O, S and Pb Isotopes [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 103(1): 276–287.
- [10] 周雄, 温春齐, 霍艳, 等. 西藏墨竹工卡地区邦铺钼铜多金属矿床成矿流体的特征[J]. *地质通报*, 2010, 29(7): 1039–1048.
Zhou X, Wen C Q, Huo Y, et al. Characteristics of Ore-forming Fluid of Bangpu Molybdenum–Copper Polymetallic Deposit, Maizhokunggar Area, Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(7): 1039–1048.
- [11] 罗茂澄, 毛景文, 王立强, 等. 西藏邦铺斑岩钼铜矿床岩浆——热液流体演化: 流体包裹体研究[J]. *地球学报*, 2012, 33(4): 471–484.
Luo M C, Mao J W, Wang L Q, et al. Fluid Inclusion Evidence for Magmatic–Hydrothermal Evolution in the Bangpu Porphyry Molybdenum–Copper Deposit, Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(4): 471–484.
- [12] 赵晓燕, 杨竹森, 周金胜, 等. 西藏邦铺斑岩矽卡岩矿床成矿流体特征——来自流体包裹体及 C–H–O 同位素的制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 2015, 34(4): 475–492.
Zhao X Y, Yang Z S, Zhou J S, et al. Characteristics of Ore-forming Fluids in the Bangpu Porphyry–Skarn Deposit: Evidence from Fluid Inclusions and Stable Isotope Compositions [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2015, 34(4): 475–492.
- [13] Yavuz F. Evaluating Micas in Petrologic and Metallogenic Aspect: I—Definitions and Structure of the Computer Program Mica⁺ [J]. *Computer & Geoscience*, 2003, 29(10): 1203–1213.
- [14] 秦克章, 张连昌, 丁奎首, 等. 东天山三岔口铜矿床类型、赋矿岩石成因与矿床矿物学特征[J]. *岩石学报*, 2009, 25(4): 845–861.
Qin K Z, Zhang L C, Ding K S, et al. Mineralization Type, Petrogenesis of Ore-bearing Intrusions and Mineralogical Characteristics of Sanchakou Copper Deposits in Eastern Tishan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(4): 845–861.

- [15] Foster M D. Interpretation of the Composition of Trioctahedral Micas [R]. Virginia: United States Geological Survey, 1960, 354-B: 1-146.
- [16] Stone D. Temperature and Pressure Variations in Suites of Archean Felsic Plutonic Rocks, Berens River Area, Northwest Superior Province, Ontario, Canada [J]. The Canadian Mineralogist, 2000, 38: 455-470.
- [17] 于玉帅, 杨竹森, 高原, 等. 西藏尼雄矿田滚纠铁矿花岗闪长岩成因的矿物化学证据 [J]. 地质与勘探, 2013, 49(5): 897-906.
Yu Y S, Yang Z S, Gao Y, et al. Genesis of Granodiorite in the Gunjiu Iron Deposit of the Nixiong Ore Field, Tibet: Evidence from Mineral Chemistry [J]. Geology and Exploration, 2013, 49(5): 897-906.
- [18] Jacobs D C, Parry W T. Geochemistry of Biotite in the Santa Rita Porphyry Copper Deposit, New Mexico [J]. Economic Geology, 1979, 74(4): 860-887.
- [19] Siahcheshm K, Calagari A A, Abedini A, et al. Halogen Signatures of Biotites from the Maher-Abad Porphyry Copper Deposit, Iran: Characterization of Volatiles in Syn- to Post-Magmatic Hydrothermal Fluids [J]. International Geology Review, 2012, 54(12): 1353-1368.
- [20] 谢富伟, 唐菊兴, 郎兴海. 西藏雄村矿区 I 号矿体斑岩含矿性研究——来自热液蚀变矿物和副矿物的证据 [J]. 岩石矿物学杂志, 2015, 34(1): 51-64.
Xie F W, Tang J X, Lang X H. Ore Potential of the Porphyry in No. I Deposit of the Xionggun Ore District, Tibet: Evidence from Hydrothermal and Accessory Minerals [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2015, 34(1): 51-64.
- [21] Boomeri M, Nakashima K, Lentz D R. The Sarcheshmeh Porphyry Copper Deposit, Kerman, Iran: A Mineralogical Analysis of the Igneous Rocks and Alteration Zones including Halogen Element Systematics Related to Cu Mineralization Processes [J]. Ore Geology Reviews, 2010, 38(4): 367-381.
- [22] Wones D R. Significance of the Assemblage Titanite + Magnetite + Quartz in Granitic Rocks [J]. American Mineralogist, 1989, 74(7): 744-749.
- [23] Albuquerque A C. Geochemistry of Biotites from Granitic Rocks, Northern Portugal [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1973, 37(7): 1779-1802.
- [24] Rusk B G, Reed M H, Dilles J H. Fluid Inclusion Evidence for Magmatic-Hydrothermal Fluid Evolution in the Porphyry Copper-Molybdenum Deposit at Butte, Montana [J]. Economic Geology, 2008, 103(2): 307-334.
- [25] Sillitoe R H. Porphyry Copper Systems [J]. Economic Geology, 2010, 105(1): 3-41.
- [26] 刘彬, 马昌前, 刘园园, 等. 鄂东南铜山口铜(钼)矿床黑云母矿物化学特征及其对岩石成因与成矿的指示 [J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(2): 151-165.
Liu B, Ma C Q, Liu Y Y, et al. Mineral Chemistry of Biotites from the Tongshankou Cu-Mo Deposit: Implications for Petrogenesis and Mineralization [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2010, 29(2): 151-165.
- [27] 弥佳茹, 袁顺达, 原垭斌, 等. 湘南宝山矿床花岗闪长斑岩中黑云母的矿物学特征及其指示意义 [J]. 矿床地质, 2014, 33(6): 1357-1365.
Mi J R, Yuan S D, Yuan Y B, et al. Mineral Chemistry of Biotites in Baoshan Granodiorite-Porphyry, Southern Hunan Province: Implications for Petrogenesis and Mineralization [J]. Mineral Deposits, 2014, 33(6): 1357-1365.

EPMA Analysis of Hydrothermal Biotite from the Bangpu Porphyry Mo-Cu Deposit of Tibet, China and the Characteristics of Early Ore-forming Fluids

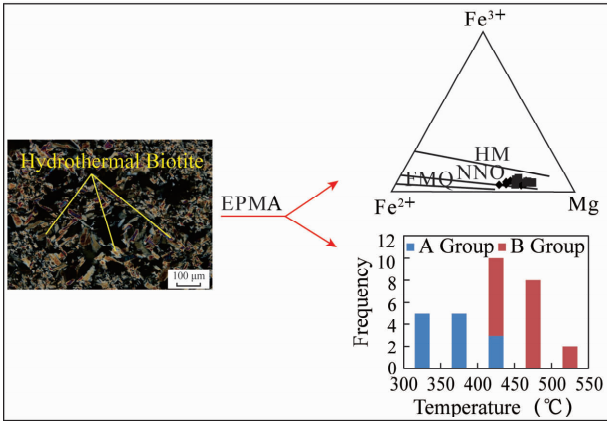
WANG Yong¹, TANG Ju-xing², WANG Li-qiang^{2*}
(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Highlights

- The chemical component of the hydrothermal biotite in Bangpu porphyry deposit's potassic alteration was obtained by the EPMA.
- The anomaly high K/Na values of hydrothermal biotite maybe an important indicator for the porphyry Mo mineralization.
- The early ore-forming liquid in the Bangpu porphyry deposit's potassic alteration had the characteristics of high temperature and oxygen fugacity.

Abstract: The chemical composition of hydrothermal biotite is important in revealing the physiochemical conditions and evolution of early ore-forming fluids. The Bangpu deposit is a large porphyry Mo (Cu) deposit in the eastern part of the Gangdese metallogenic belt, and hydrothermal biotite is extensive in the potassic alteration zone. Hydrothermal biotite in the potassic alteration zone of dioritic porphyry was analyzed by Electron Microprobe Analyzer (EPMA) and is reported in this paper. Results show that the biotite is characterized by the high content of K and low contents of Na and Ca. The average contents of SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO^T, MgO, K₂O are 38.95%, 1.42%, 13.55%, 14.22%, 16.23%, 9.77%, respectively. The anomalously high K/Na values (82.5) may be an important indicator for the porphyry Mo mineralization. Based on chemical components, the temperature and oxygen fugacity of the ore-forming fluids were calculated. Results show that the early ore-forming fluids of the potassic alteration have a high temperature and oxygen fugacity, and the average temperature (458℃) of the deep ore-forming fluids is much higher than that of the shallow ore-forming fluids (366℃). The decreasing temperature and pressure during the migration of the early ore-forming fluids from deep to shallow resulted in the precipitation of the Mo and Cu sulfides. This research provides an important clue for studying the evolution of ore-forming fluids and the ore-forming mechanism.

Key words: hydrothermal biotite; Electron Microprobe; physico-chemical condition; porphyry deposit; Bangpu



本文引用格式: 王勇, 唐菊兴, 王立强. 西藏邦铺斑岩钼(铜)矿床钾硅酸盐化热液黑云母电子探针分析及早期成矿流体特征[J]. 岩矿测试, 2016, 35(4): 440–447.
WANG Yong, TANG Ju-xing, WANG Li-qiang. EPMA Analysis of Hydrothermal Biotite from the Bangpu Porphyry Mo-Cu Deposit of Tibet, China and the Characteristics of Early Ore-forming Fluids[J]. Rock and Mineral Analysis, 2016, 35(4): 440–447. DOI: 10.15898/j.cnki.11–2131/td.2016.04.017.