

西藏邦铺钼多金属矿床矽卡岩矿物学特征及其地质意义

王立强^{1,2} 唐菊兴¹ 陈伟¹ 罗茂澄² 康浩然¹ 冷秋锋³

(1.中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083;
3.成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059)

摘要:西藏邦铺超大型钼多金属矿床中矽卡岩铅锌矿体赋存于下二叠统洛巴堆组矽卡岩和大理岩中,矿体呈似层状、透镜状产出,矽卡岩矿物较为发育。为进一步查明矿床矽卡岩矿物种属及矽卡岩类型,剖析矽卡岩形成环境及其与矿化类型之间的关系,基于对矽卡岩矿物系统地显微镜下观测,利用电子探针对矿床主要矽卡岩矿物化学成分进行了系统分析。结果表明,石榴子石端员组分以钙铁榴石为主,含少量锰铝榴石和钙铝榴石;单斜辉石主要为透辉石-钙铁辉石系列,含少量锰钙辉石;似辉石为铁钙蔷薇辉石;角闪石主要为钙质阳起石;绿帘石贫Fe、Mg。矽卡岩矿物组合特征表明,矿床矽卡岩兼具钙矽卡岩和锰质矽卡岩特征;早期矽卡岩形成于较强的氧化环境,成矿岩浆流体亦具有较高氧逸度。邦铺首次发现锰质矽卡岩矿物组合,表明矿区具有银矿找矿潜力,为下一步找矿工作提供了理论支撑。

关键词:钼多金属矿床;钙矽卡岩;锰质矽卡岩;邦铺;西藏

中图分类号:P611;P575 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)02-0562-15

邦铺钼多金属矿床位于冈底斯成矿带东段南部,甲玛铜多金属矿床北东侧,是继沙让斑岩钼矿发现^[1]以来又一达大型以上规模的斑岩-矽卡岩型钼多金属矿床。矿床由产出二长花岗斑岩中的斑岩钼(铜)矿体,发育于闪长玢岩中的斑岩铜(钼)矿体及二长花岗斑岩体外围的矽卡岩铅锌矿体组成。前人对于矿床成岩-成矿时代^[2-5]、成岩-成矿物质来源^[6-7]、成矿流体来源及演化^[8-10]、辉钼矿稀土微量元素地球化学^[10-11]等方面进行过一定研究,然而关于矿床矽卡岩方面的研究尚属空白。因此,本文选取矿床主要矽卡岩矿物作为研究对象,对矽卡岩矿物种属进行识别,厘定矽卡岩类型并对其形成环境进行分析,以期提高矿床研究程度,进而为下一步找矿工作提供思路。

1 矿床地质特征

邦铺矿床由斑岩型钼铜矿体及矽卡岩型铅锌矿体组成,斑岩型矿体基本地质特征在此不作赘述,可参阅相关文献^[5,12],以下将简要介绍矽卡岩铅锌矿区基本地质特征。

矽卡岩铅锌矿位于斑岩矿体南侧,矿区内出露地层为下二叠统洛巴堆组(P₁l)和古近系典中组(E₁d)(图1)。侵入岩主要为黑云母二长花岗岩和石英二长斑岩脉,二者侵位时代分别为60.6~70.0 Ma和15.43 Ma^[5,13],与成矿关系不大。矿区断层构造发育,近东西向F₁断层与成矿关系密切,既提供了矿质运移通道,又提供了部分容矿空间。铅锌矿体近东西向赋存于洛巴堆组矽卡岩、大理岩

收稿日期:2013-06-26;改回日期:2013-10-18

基金项目:中国地质调查局青藏专项项目(1212011085529)及国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB403103)联合资助。

作者简介:王立强,男,1984年生,助理研究员,主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究;E-mail:w1q060301@163.com。

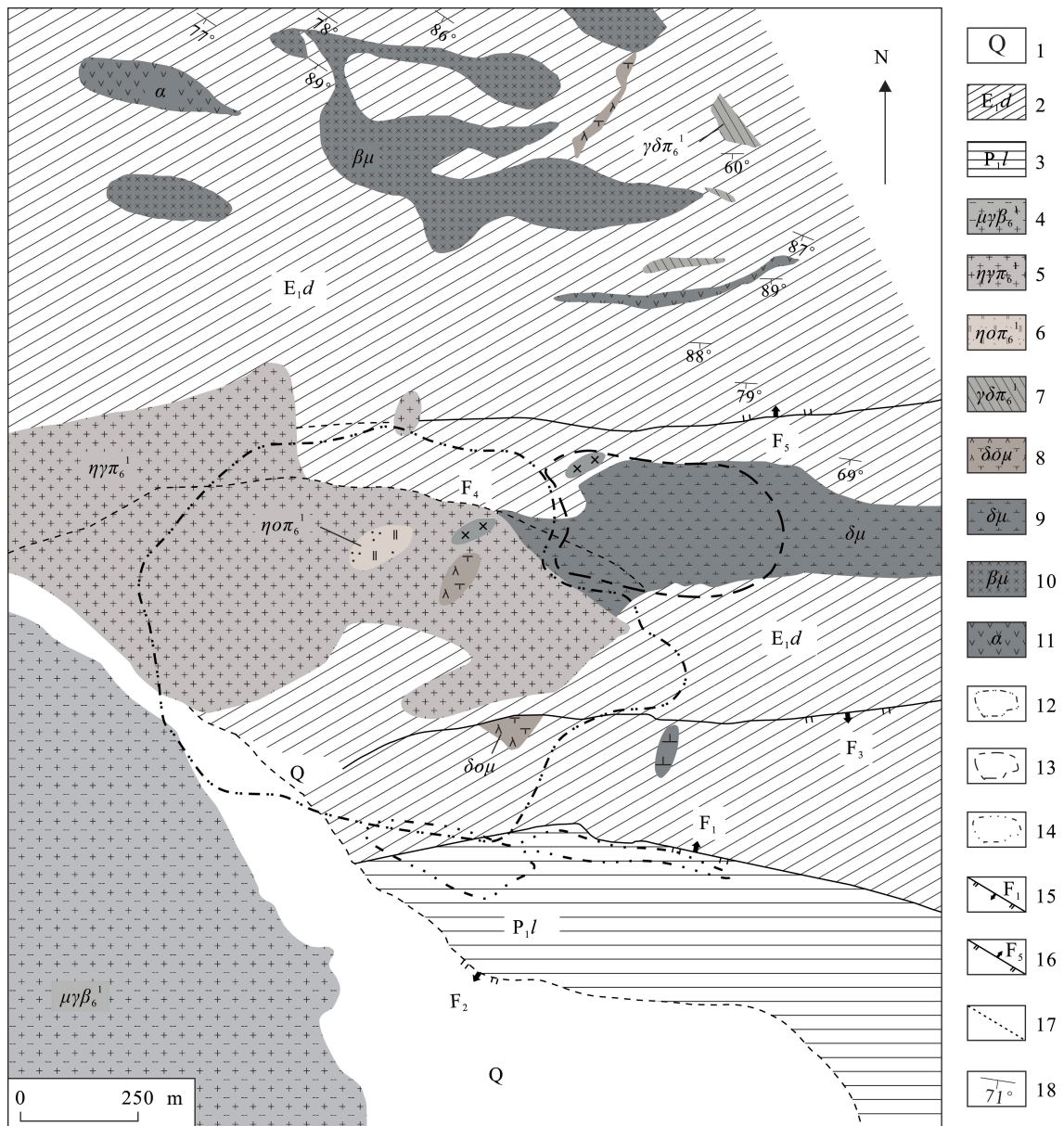


图1 邦铺钼多金属矿床地质简图(据①修改)

1—第四系;2—古近系典中组;3—下二叠统洛巴堆组;4—黑云母二长花岗岩;5—二长花岗斑岩;6—石英二长斑岩;
7—花岗闪长斑岩;8—石英闪长玢岩;9—闪长(玢)岩;10—辉绿岩—辉长辉绿岩;11—安山岩;12—钼(铜)矿体边界;
13—铜(钼)矿体边界;14—铅锌矿体边界;15—正断层及编号;16—逆断层及编号;17—不明性质断层;18—地层产状

Fig.1 Simplified geological map of the Bangpu Mo polymetallic deposit (modified after ①)

1—Quaternary; 2—Paleogene Dianzhong Formation; 3—Lower Permian Luobadui Formation; 4—Biotite adamellite;
5— Monzogranite porphyry; 6—Beschtauite; 7—Granodiorite-porphry; 8—Quartz diorite porphyrite; 9—Diorite porphyrite;
10—Diabase and gabbro-diabase; 11—Andsite; 12—Mo (Cu) mineralization boundary; 13—Cu (Mo) mineralization boundary;
14—Pb-Zn mineralization boundary; 15—Normal fault and its serial number; 16—Reverse fault and its serial number;
17—Unknown fault; 18—Attitude of strata

① 西藏地勘局地热地质大队. 西藏自治区墨竹工卡县邦铺钼(铜)多金属矿普查报告. 2007.

中,少量发育于断层破碎带中。矿石金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,次为磁黄铁矿、银矿物、磁铁矿、赤铁矿,极少量黄铜矿和铜蓝。非金属矿物以矽卡岩矿物和石英为主,次为方解石、绢云母、白云母等。矿石结构以结晶作用形成的半自形-他形晶结构为主,次为交代作用形成的溶蚀结构、残余结构、假像结构、反应边结构等,少量固溶体分离结构和应力结构;矿石构造主要为浸染状构造和块状构造,其次为脉状构造和条带状构造等。围岩蚀变主要有矽卡岩化、大理岩化、硅化、绢云母化和碳酸盐化等;围岩蚀变分带较为明显,靠近北部斑岩体一侧以石榴子石-辉石-阳起石矽卡岩蚀变为主,向南逐渐过渡为阳起石-辉石-绿帘石矽卡岩化和绿帘石-绿泥石-硅化-大理岩化。矽卡岩空间分带特征可能反映了成矿流体演化、温度及氧化还原环境发生了一定改变^[14]。

根据野外和室内显微镜下所观察到的矿物组合及其共生和相互穿插关系可将成矿划分为早期矽卡岩阶段、退化蚀变阶段、石英硫化物阶段和碳酸盐岩阶段。早期矽卡岩阶段,主要形成石榴子石、透辉石、钙铁辉石、硅灰石等无水硅酸盐矿物;退化蚀变阶段,多形成含水的矽卡岩矿物角闪石、绿帘石、白云母、绿泥石等,常交代早阶段无水矽卡岩矿物并伴有磁铁矿和赤铁矿产出;石英硫化物阶段为主要成矿阶段,大量金属硫化物闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等伴随硅化产出;碳酸盐岩阶段主要形成方解石,伴随有少量闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、石英和绿泥石等产出。

2 主要矽卡岩矿物特征

邦铺铅锌矿区矽卡岩矿物广泛发育,与成矿关系密切。根据主要的矽卡岩矿物组合,可将矿床矽卡岩划分为石榴子石矽卡岩、石榴子石-辉石矽卡岩、辉石-石榴子石矽卡岩、角闪石-石榴子石-辉石矽卡岩、角闪石-绿帘石-绿泥石矽卡岩等。常见的矽卡岩矿物有石榴子石、辉石、硅灰石、角闪石、绿帘石、绿泥石等。主要矽卡岩矿物特征简述如下。

2.1 石榴子石

石榴子石是邦铺矿床最发育的矽卡岩矿物之一,多呈自形或半自形粒状,粒径多变化于1~6 mm。肉眼观察石榴子石呈棕褐色或黄绿色;显微

镜单偏光观察石榴子石呈浅黄绿色(图2-A);正交偏光下光性异常明显,呈黑白相间的干涉色。石榴子石生长环带十分发育,部分石榴子石发育简单双晶(图2-B)。显微镜下观察见石榴子石被其他矽卡岩矿物(如阳起石、绿帘石)和石英、方解石等交代或者遭受后期流体作用发生粘土化和绢云母化现象。石榴子石粒间或颗粒内部裂隙中常充填发育闪锌矿、方铅矿等金属硫化物(图2-C)。

2.2 辉石

邦铺矿床矽卡岩中常见的矿物之一,呈颗粒状或短柱状,集合体常呈放射状。辉石颗粒粒径一般较小,多数为0.2~2 mm。手标本观察其颜色为绿色,显微镜下单偏光观察辉石颜色多无色或浅绿色。正交偏光镜下观察可见2种明显不同的辉石,一种干涉色较高呈二级蓝绿至橙黄(图2-D、E),另外一种干涉色较低,为一级灰白干涉色(图2-F)。前者往往为粒状或短柱状,斜消光,可见其被后期阳起石等矽卡岩矿物交代(图2-D)或遭受后期流体作用影响发生绿泥石或绿帘石化蚀变现象;后者呈厚板状或放射状,含量较少,斜消光且消光角明显较前者小很多,属三斜晶系似辉石,常发育碳酸盐化(图2-F)。

2.3 角闪石

矽卡岩中大量出现的矿物之一,手标本上呈长柱状或放射状集合体,单个体长度较大,最长可达50 mm。手标本观察其颜色为黑色或墨绿色,显微镜单偏光下观察多为绿色,可见明显多色性,正交偏光下干涉色较高,呈蓝绿色、橙黄色等(图2-G、H)。角闪石常发生蚀变,显微镜下可见其发生强碳酸盐化或绿帘石化现象。另外,显微镜下可见角闪石中析出金属矿物或角闪石被闪锌矿等金属硫化物交代出现孔洞或交代呈碎布状。

2.4 硅灰石

相比上述矽卡岩矿物,硅灰石在邦铺矽卡岩中含量较少,手标本上不易辨认,显微镜下偶尔可以观察到,多以柱状、纤维状或放射状集合体形式产出,单个体长度一般小于2 mm。单偏光下观察硅灰石无色,正交偏光下干涉色多为一级灰白色(图2-I)。显微镜下可见硅灰石被闪锌矿或方铅矿交代现象。

2.5 绿帘石

绿帘石主要产出于远离矿区北侧斑岩体的矽

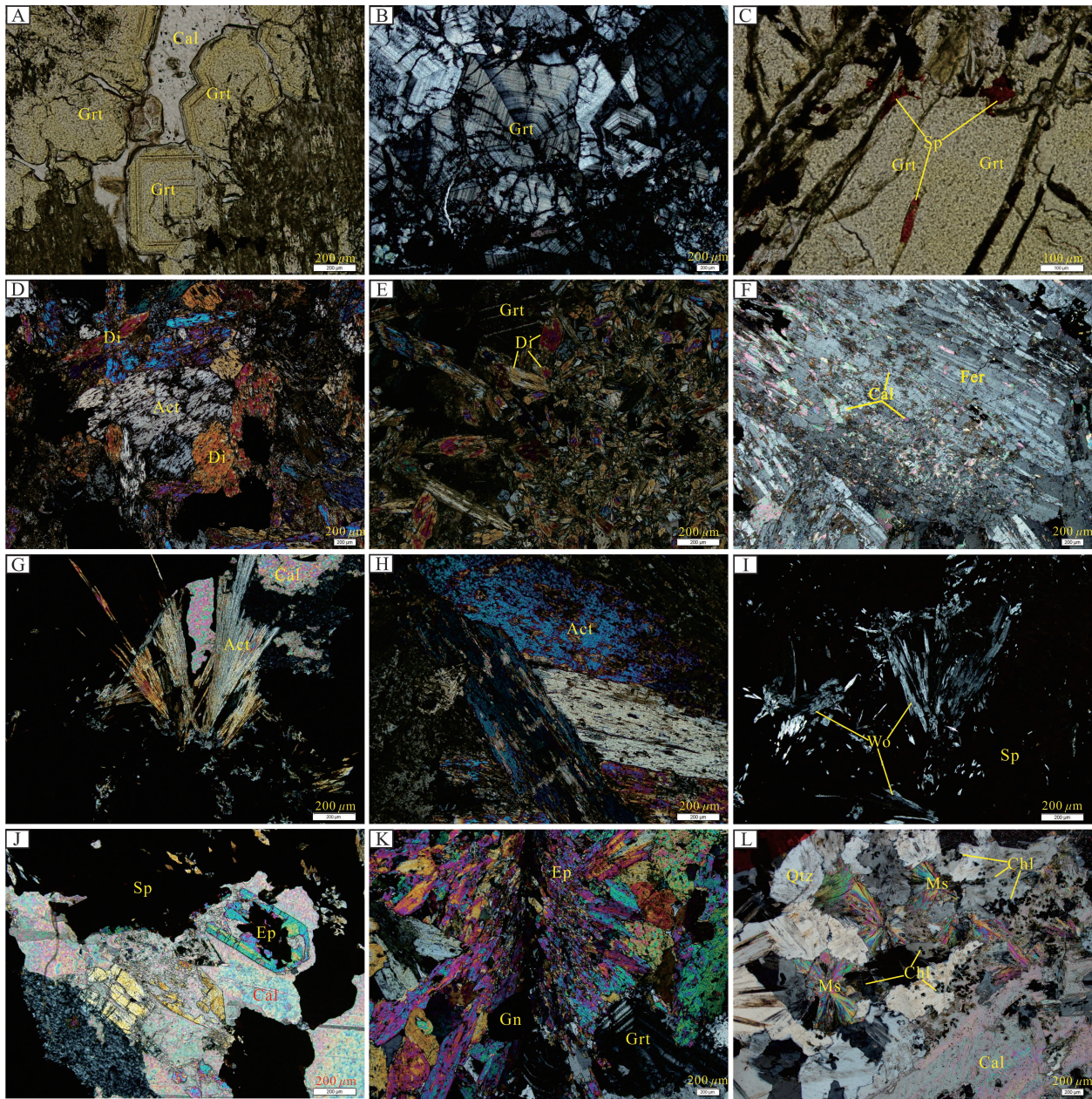


图2 邦铺钼多金属矿床主要矽卡岩矿物特征

A—石榴子石浅黄色反射色及退化蚀变(-); B—石榴子石环带及双晶(+); C—石榴子石晶体裂隙中发育闪锌矿(-); D~E—透辉石及其干涉色, D中可见其被阳起石交代(+); F—铁钙蔷薇辉石干涉色及碳酸盐化(+); G~H—阳起石及其干涉色(+); I—硅灰石放射状集合体(+); J—粒状自形绿帘石被方解石交代, 绿帘石内部见不透明金属硫化物(+); K—放射状绿帘石切穿石榴子石(+); L—放射状白云母及绿泥石颗粒(+); Grt—石榴子石; Cal—方解石; Sp—闪锌矿; Di—透辉石; Act—阳起石; Fer—铁钙蔷薇辉石; Ep—绿帘石; Ms—白云母; Chl—绿泥石; (-)单偏光; (+)正交偏光

Fig.2 Features of skarn minerals in the the Bangpu Mo polymetallic deposit

A—Light yellow interference color of garnet and their retrograde alteration; B—Growth zoning and twinning of garnet; C—Sphalerite developed in the fracture of garnet; D~E—Interference color of diopsides, with parts of them altered by actinolite in photo D; F—Interference color of bastnaesite and carbonatization; G~H—Interference color and crystal feature of actinolite; I—Radiated aggregation of wollastonite; J—Euhedral epidote grain altered by calcite and some opaque metal sulfides which precipitated in epidote; K—Radial epidote penetrating garnet; L—Radial muscovite and chlorite grains;

(-) plainlight; (+) crossed nicols

卡岩中。手标本上绿帘石常以集合体形式团斑状产出,显微镜下可观察到其较自形的六边形切面(图2-J)和放射状集合体(图2-K)。绿帘石单偏光下为浅黄绿色且颜色分布不均,具较弱的多色性,正交偏光下绿帘石干涉色较高且鲜艳(图2-J、K)。绿帘石常与石榴子石、阳起石等一起产出形成石榴子石-阳起石-绿帘石砂卡岩,但是绿帘石往往较石榴子石或阳起石形成晚,可见到绿帘石交代和穿插石榴子石现象,也可观察到其被金属硫化物(图2-K)和方解石交代现象。

2.6 绿泥石

砂卡岩中绿泥石主要呈细小鳞片状、颗粒状或颗粒集合体集中产出,颗粒形态不规则。单偏光下绿泥石主要呈浅绿色,具有弱多色性;正交偏光镜下干涉色较低为一级灰色,部分绿泥石颗粒呈现出锈褐色的异常干涉色,因此正交偏光镜下往往呈现出较深的颜色(图2-L)。

3 样品采集与电子探针分析

本次研究对采自铅锌矿体平硐及近地表老采坑内典型砂卡岩矿物石榴子石、辉石、角闪石、绿帘石、绿泥石进行了电子探针分析,详细的样品描述和取样位置见表1。电子探针分析由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成。分析仪器为JXA-8230型电子探针,测试加速电压为15 kV,束电流为20 nA,束斑直径为5 μm 。

3.1 石榴子石

本次试验共计完成了17个点位分析,分析结果见表2。通过计算得到石榴子石端员组分主要为钙铁榴石(And),其变化范围为93.13%~98.81%,平均值为97.15%;其次含有少量锰铝榴石(Spe),其变化范围为0.35%~5.18%,平均值为2.49%;部分样品中含有钙铝榴石(Gro)和铁铝榴石(Alm),其平均含量分别为2.2%和0.79%;镁铝榴石(Pyr)含量不足0.1%。石榴子石端员组分图解(图3)显示其端员组分属钙铁榴石-锰铝榴石系列,与相邻的

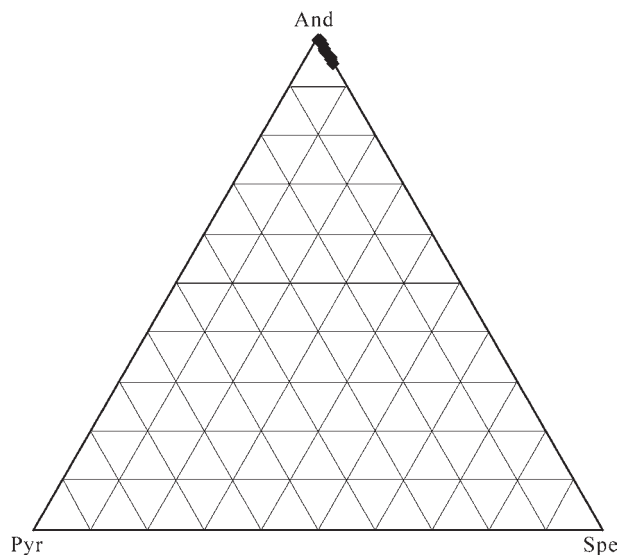


图3 邦铺钼多金属矿床石榴子石端员组成图
Fig.3 End members of garnet from the Bangpu Mo polymetallic deposit

表1 邦铺钼多金属矿床电子探针分析样品类型和采样位置

Table 1 Types and locations of samples from the Bangpu Mo polymetallic deposit for electron microprobe analysis

样品编号	岩石名称	产状	采样位置
LX11-14	阳起石-透辉石-石榴子石砂卡岩 铅锌矿石	产于石榴子石-辉石- 阳起石砂卡岩蚀变带中	29°53'11.3"N 91°56'09.6"E H=4850 m
LX11-16	阳起石-绿帘石砂卡岩铅锌矿石		LX11-14 南侧 40 m
LX11-21	闪锌矿-方铅矿化辉石-阳起石砂卡岩	产于阳起石-辉石- 绿帘石砂卡岩带北侧	LX-16 南侧 100 m, 靠近平硐 PD8
BMPD8-2	透辉石-石榴子石砂卡岩铅锌矿石	产于阳起石-辉石- 绿帘石砂卡岩带中	主矿体平硐 PD8 距硐口 290 m
BMPD8-3	闪锌矿、方铅矿化阳起石-石榴子石砂卡岩		主矿体平硐 PD8 距硐口 305 m

表2 邦铺钼多金属矿床石榴子石电子探针分析结果(%)
Table 2 Electron microprobe analyses of garnet from the Bangpu Mo polymetallic deposit (%)

组分	BMPD8-2-4										BMPD8-3-1					
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D01	D02	D03	D04	D05	D06
SiO ₂	34.94	35.48	35.35	35.44	35.36	35.53	35.55	35.73	35.75	35.21	34.33	36.05	35.37	34.54	35.06	35.74
TiO ₂									0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	
Al ₂ O ₃	0.97	0.89	1.03	0.86	0.05	0.08	0.66	0.26	0.27	0.06	1.37	0.45	0.90	0.08	1.30	
Cr ₂ O ₃	0.04	0.09	0.09		0.04	0.04	0.11		0.04	0.05	0.06	0.01	0.03		0.01	
TFeO	27.57	29.09	27.58	27.96	28.52	29.21	28.12	28.13	28.89	29.73	27.32	28.25	26.94	29.12	27.36	28.60
MnO	0.63	0.31	2.21	1.93	1.07	0.40	1.05	1.88	1.54	0.30	1.26	0.15	1.26	1.10	1.56	0.37
MgO	0.01	0.01	0.01		0.03	0.00	0.03	0.01		0.02	0.01	0.02	0.01			
CaO	33.06	34.03	31.64	32.13	32.88	33.39	32.85	32.51	32.37	33.40	32.63	33.80	32.39	32.73	32.11	32.93
Si	2.9500	2.9566	2.9692	2.9651	2.9708	2.9633	2.9685	2.9821	2.9768	2.9407	2.9144	2.9880	2.9883	2.9262	2.9569	3.0015
Ti									0.0006	0.0005	0.0008	0.0011	0.0008	0.0010	0.0001	
Al	0.0968	0.0871	0.1017	0.0847	0.0047	0.0081	0.0651	0.0251	0.0268	0.0054	0.1371	0.0436	0.0896	0.0082	0.1291	
Cr	0.0027	0.0058	0.0062		0.0026	0.0073			0.0029	0.0035	0.0042	0.0006	0.0021		0.0006	
Fe ³⁺	1.9338	1.9419	1.9127	1.9386	2.0148	2.0138	1.9486	1.9868	1.9854	2.0303	1.9152	1.9631	1.9155	2.0404	1.8990	1.9990
Fe ²⁺	0.0131		0.0248	0.0179		0.0238	0.0148		0.0264	0.0465	0.0250			0.0233	0.0308	0.0094
Mn	0.0448	0.0217	0.0738	0.1571	0.0762	0.0281	0.0745	0.1326	0.1085	0.0210	0.0906	0.0106	0.0905	0.0787	0.1111	0.0264
Mg	0.0010	0.0009	0.0013	0.0016	0.0040	0.0004	0.0037	0.0006		0.0020	0.0006	0.0027	0.0006			
Ca	2.9910	3.0377	2.8473	2.8806	2.9600	2.9844	2.9385	2.9076	2.8877	2.9892	2.9685	3.0022	2.9316	2.9709	2.9013	2.9627
Ura	0.13		0.29	0.31		0.13	0.36		0.14	0.17	0.20	0.03	0.10		0.03	
And	95.11	95.71	94.66	95.81	99.77	99.47	96.41	98.75	98.53	99.56	93.13	97.80	95.43	99.60	93.61	98.81
Pyx	0.03	0.03	0.05		0.13	0.01	0.12	0.02		0.07	0.02	0.09	0.02			
Spe	1.47	0.71	2.44	4.50	2.51	0.92	2.46	4.39	3.59	0.69	2.94	0.35	3.00	2.56	3.65	0.88
Gro	2.83	4.11					0.15				2.90	1.88	1.83		1.70	
Alm	0.43		1.08	0.82	0.59	0.78	0.49		0.87	1.52	0.81			0.76	1.01	0.31

甲玛矿床极不发育锰铝榴石有所不同^[15-16]。另外,石榴子石铁含量(TFeO)-铝含量(Al_2O_3)图解中(图4),铝和铁含量呈明显线性负相关关系,即石榴子石成分中随着铁含量增加,铝含量具有明显降低趋势,可能反映了钙铁榴石-锰铝榴石固溶体系列成分变化特征。

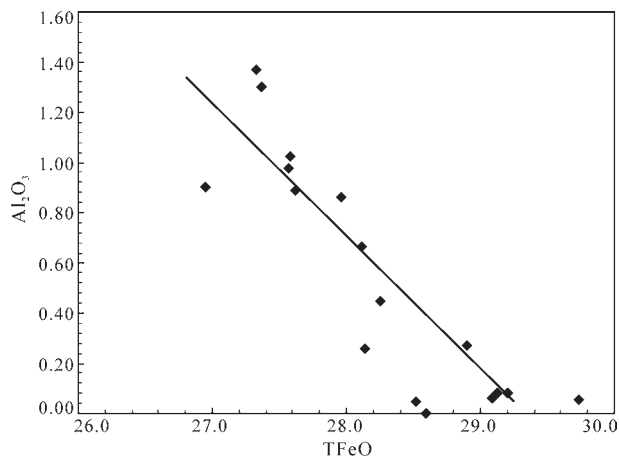


图4 邦铺钼多金属矿床石榴子石TFeO- Al_2O_3 图
Fig.4 TFeO- Al_2O_3 diagram of garnet from the Bangpu Mo polymetallic deposit

对石榴子石环带研究结果表明,正交偏光镜下观察发现的环带颜色深浅的变化系其所含 Al_2O_3 、TFeO及CaO含量不同所致。以BMPD8-3-1为例,如图5所示,石榴子石浅色环带(图5-A中点1、3、5)较其深色环带(图5-A中点2、4、6)中 Al_2O_3 含量较高(图5-B),而TFeO、CaO含量则较低(图5-C、D)。由核部到边部,整体上具钙铁榴石向锰铝榴石或钙铝榴石过渡的趋势,反映出随着外界成矿物理化学环境的变化,铁质逐步被析出沉淀的过程^[17]。

3.2 辉石

本次实验对矿床单斜辉石和似辉石分别进行了分析,共计完成了18个点位分析。其中,单斜辉石样品为BMPD8-2-2和BMPD8-2-3,似辉石样品为LX11-2-1和LX11-2-2,分析结果见表3~4。

测试结果表明矿床单斜辉石主要成分 SiO_2 变化范围为49.71%~53.54%,平均值为52.12%; Al_2O_3 变化范围为0.03%~0.23%,平均值为0.13%;TFeO变化范围为10.52%~17.38%,平均值为13.24%;MnO变化范围为1.31%~4.02%,平均值为2.13%;MgO变化范围为5.74%~10.64%,平均值为8.67%;CaO变化范围为23.47%~24.66%,平均值为

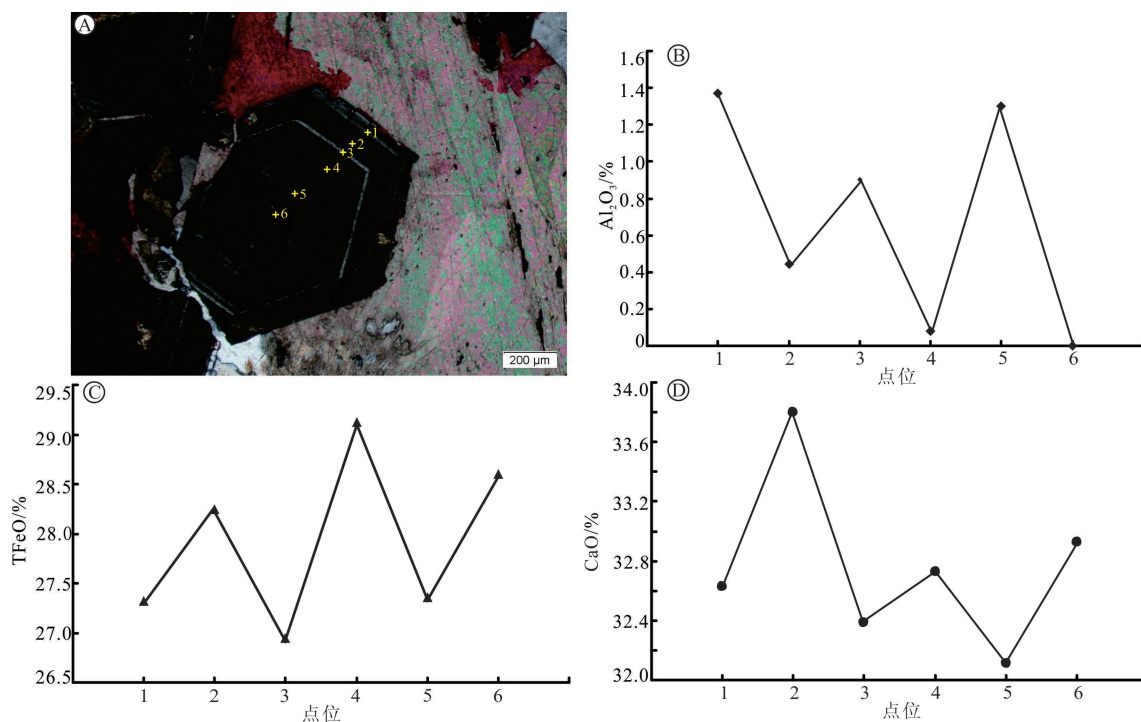


图5 邦铺钼多金属矿床石榴子石环带特征及其与化学成分之间关系
Fig.5 Relationship between chemical components and growth zoning of garnet from the Bangpu Mo polymetallic deposit

表3 邦铺钼多金属矿床单斜辉石电子探针分析结果(%)

Table 3 Electron microprobe analyses of clinopyroxene from the Bangpu Mo polymetallic deposit (%)

组分	BMPD8-2-3					BMPD8-2-2		LX11-14		
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10
SiO ₂	52.30	52.81	52.75	52.44	52.51	52.30	53.54	50.71	52.11	49.71
TiO ₂		0.00	0.00	0.01					0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.12	0.14	0.16	0.10	0.11	0.23	0.15	0.11	0.13	0.03
Cr ₂ O ₃	0.11	0.09	0.01	0.04	0.00	0.06	0.04	0.01	0.00	0.00
TFeO	10.52	13.50	11.48	13.44	11.80	12.99	11.90	17.38	15.41	13.96
MnO	1.52	1.55	1.57	1.74	1.76	1.31	1.77	2.69	3.37	4.02
MgO	10.64	8.90	10.05	8.66	9.95	9.29	9.63	5.74	6.94	6.88
CaO	24.66	24.35	24.40	24.30	24.41	24.42	24.62	23.53	23.67	23.47
Na ₂ O	0.09	0.10	0.09	0.10	0.06	0.10	0.08	0.13	0.13	0.95
K ₂ O	0.01		0.00	0.01		0.01	0.01	0.01	0.00	0.31
以6个氧原子为基准										
Si	1.9937	2.0050	2.0040	2.0057	1.9988	1.9968	2.0120	1.9971	2.0039	1.9742
Al ^{IV}					0.0012	0.0032		0.0029		0.0004
Al ^{VI}		0.0063	0.0073	0.0044	0.0039	0.0071	0.0065	0.0024	0.0059	
Ti		0.0001	0.0000	0.0003					0.0001	0.0004
Cr	0.0034	0.0028	0.0003	0.0012		0.0017	0.0012	0.0002		
Fe ³⁺	0.0165				0.0031	0.0032		0.0163		0.2035
Fe ²⁺	0.3183	0.4292	0.3651	0.4306	0.3725	0.4114	0.3751	0.5555	0.4957	0.2522
Mn	0.0491	0.0499	0.0504	0.0562	0.0567	0.0423	0.0564	0.0898	0.1098	0.1352
Mg	0.6045	0.5035	0.5690	0.4938	0.5645	0.5287	0.5398	0.3371	0.3980	0.4073
Ca	1.0071	0.9906	0.9932	0.9960	0.9957	0.9988	0.9915	0.9929	0.9751	0.9986
Na	0.0068	0.0076	0.0069	0.0070	0.0047	0.0073	0.0055	0.0102	0.0094	0.0729
K	0.0003		0.0001	0.0002		0.0004	0.0003	0.0004	0.0001	0.0157
Jo	4.97	5.08	5.12	5.73	5.69	4.29	5.80	8.99	10.94	13.55
Di	61.16	51.24	57.80	50.36	56.63	53.64	55.58	33.75	39.66	40.80
Hd	33.87	43.68	37.08	43.91	37.68	42.07	38.62	57.26	49.40	45.65

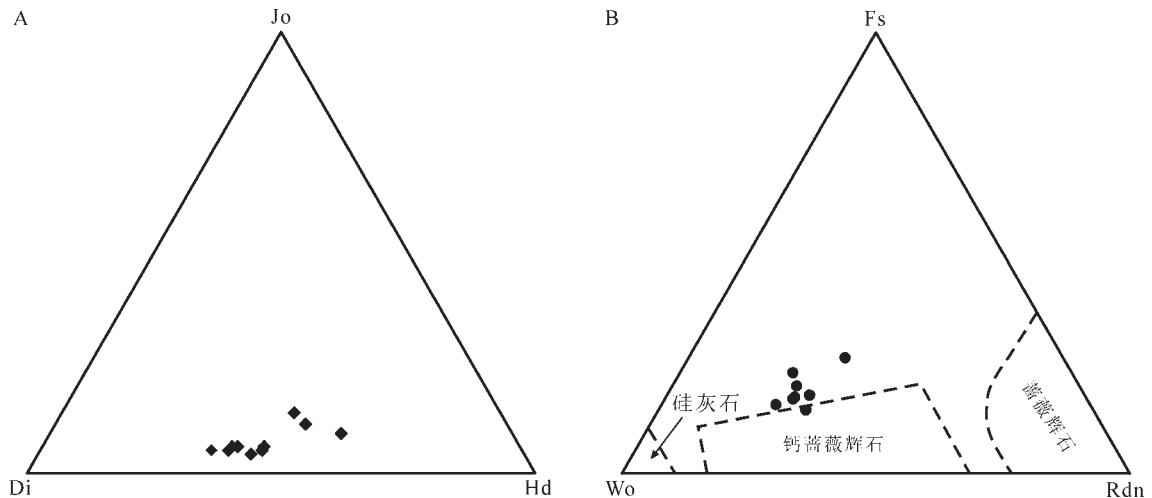


图6 邦铺钼多金属矿床辉石端员组分判别图解(B-底图据[18]修改)
 Fig.6 End members of clinopyroxene and bustamite from the Bangpu Mo polymetallic deposit
 (Fig.6B modified after [18])

表4 邦铺钼多金属矿床似辉石电子探针分析结果(%)

Table 4 Electron microprobe analyses of pyroxenoids from the Bangpu Mo polymetallic deposit (%)

组分	LX11-21-1			LX11-21-2				
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08
SiO ₂	48.75	45.92	49.16	49.17	49.17	50.07	48.42	47.90
TiO ₂		0.01	0.02		0.01		0.01	
Al ₂ O ₃	0.51	0.74	0.56	0.24	0.44	0.28	0.60	0.58
Cr ₂ O ₃	0.06	0.02		0.03	0.09	0.17	0.02	0.03
TFeO	14.92	16.37	16.09	12.42	13.48	15.34	14.26	13.25
MnO	13.74	14.04	12.77	12.25	14.37	15.06	14.05	15.63
MgO	1.10	1.62	1.15	3.05	0.66	1.39	0.73	0.89
CaO	21.61	19.48	21.51	22.58	22.67	15.71	22.39	21.66
Na ₂ O	0.09	0.09	0.12	0.05	0.12	0.09	0.14	0.07
K ₂ O		0.00	0.01			0.03		
以6个氧原子为基准								
Si	1.9836	1.9384	1.9863	1.9890	1.9925	2.0657	1.9764	1.9716
Al ^{IV}	0.0164	0.0002	0.0137	0.0110	0.0075		0.0236	
Al ^{VI}	0.0078		0.0131	0.0002	0.0135	0.0135	0.0053	
Ti		0.0002	0.0006		0.0003		0.0003	
Cr	0.0020	0.0006		0.0009	0.0029	0.0056	0.0007	0.0009
Fe ³⁺	0.0199	0.1371	0.0141	0.0206			0.0422	0.0495
Fe ²⁺	0.4871	0.4342	0.5288	0.3987	0.4569	0.5389	0.4427	0.4048
Mn	0.4735	0.5018	0.4369	0.4198	0.4931	0.5261	0.4857	0.5447
Mg	0.0666	0.1020	0.0693	0.1836	0.0397	0.0854	0.0447	0.0544
Ca	0.9421	0.8811	0.9313	0.9785	0.9841	0.6946	0.9793	0.9553
Na	0.0067	0.0072	0.0095	0.0038	0.0095	0.0074	0.0114	0.0054
K		0.0001	0.0006			0.0014		
Fs	25.34	22.22	27.67	21.94	23.62	30.63	22.70	20.71
Wo	49.00	45.09	48.73	53.83	50.88	39.47	50.22	48.88
Rdn	24.63	25.68	22.86	23.10	25.50	29.90	24.91	27.87

24.18%。单斜辉石端员组分计算结果列于表3内, 锰钙辉石(Jo)组分变化范围为4.29%~13.55%, 平均为7.02%; 透辉石(Di)组分变化范围为33.75%~61.16%, 平均为50.06%; 钙铁辉石(Hd)组分变化范围为33.87%~57.26%, 平均为42.92%。在单斜辉石端员组分判别图解中(图6-A), 7个样品点位置靠近透辉石端员, 另外3个样品则明显偏向钙铁辉石。因此, 邦铺矿床辉石属于钙铁辉石-透辉石固溶体系列, 以透辉石组分居多, 同时含少量锰钙辉石。甲玛铜多金属矿床单斜辉石也主要为透辉石^[15], 但相对于邦铺矿床透辉石而言富Mg而贫Fe、Mn, 与甲玛矿床黄铁矿、磁黄铁矿等含铁矿物数量较少的地质事实相一致。

似辉石主要成分SiO₂变化范围为45.92%~50.07%, 平均值为48.57%; Al₂O₃变化范围为0.24%~0.74%, 平均值为0.49%; TFeO变化范围为12.42%~16.37%, 平均值为14.52%; MnO变化范围为12.25%~15.63%, 平均值为13.99%; MgO变化范围为0.66%~3.05%, 平均值为1.32%; CaO变化范围为15.71%~22.67%, 平均值为20.95%。似辉石端员组分计算结果列于表4内, 铁辉石(Fs)组分变化范围为20.71%~30.63%, 平均为24.35%; 硅辉石(Wo)组分变化范围为39.47%~53.83%, 平均为48.26%; 蔷薇辉石(Rdn)组分变化范围为22.86%~29.90%, 平均为25.56%。在三斜辉石端员组分判别图解中(图6-B), 1个样品点位于赵一鸣等(2012)所圈定的钙蔷薇辉石区

域内^[18];其余7个点投影位置均位于钙蔷薇辉石区域上方,邦铺矿床似辉石与赵一鸣等所圈定的钙蔷薇辉石之间的差别在于前者组分中铁含量明显较高,可能属于铁钙蔷薇辉石^[19]。

3.3 角闪石

本次实验共完成了8个点位的电子探针分析,测试数据列于表5。测试结果表明矿床角闪石主要成分SiO₂变化范围为42.56%~52.70%,平均值为50.08%;Al₂O₃变化范围为2.11%~7.74%,平均值为3.31%;TFeO变化范围为17.83%~22.20%,平均值为19.03%;MgO变化范围为9.55%~11.83%,平均值为11.53%;CaO变化范围为7.20%~12.30%,平均值为10.95%。根据Leake等(1997)的分类^[20],邦铺矿床角闪石主体属钙角闪石系列,可能存在少量镁铁锰角闪石;角闪石多数为阳起石,个别为镁角闪石(图7)。

3.4 绿帘石

本次实验共完成了10个点位的电子探针分析,

测试数据列于表6。测试结果表明矿床绿帘石主要成分SiO₂变化范围为37.25%~38.37%,平均值为37.93%;Al₂O₃变化范围为21.23%~22.70%,平均值为22.10%;TFeO变化范围为11.79%~14.06%,平均值为12.65%;CaO变化范围为23.41%~24.60%,平均值为23.98%。绿帘石化学成分与角闪石化学成分相比具有富Al、Ca而贫Fe、Mg的特征,表明绿帘石形成时伴随有Fe、Mg等元素的析出^[21]。绿帘石是矽卡岩晚阶段矿物,低温钙质交代作用的主要特征是绿帘石化^[22],在钙矽卡岩中它的形成标志着矽卡岩化过程中热液作用和矿化作用的开始^[23]。

4 讨论

4.1 矽卡岩类型与其形成环境

交代矽卡岩按矿物组成和被交代的碳酸盐岩围岩的差别,可划分为钙矽卡岩和镁矽卡岩^[24]。赵一鸣等(1990)通过对国内与Pb、Zn(Ag)多金属矿

表5 邦铺钼多金属矿床角闪石电子探针分析结果(%)

Table 5 Electron microprobe analyses of amphibole from the Bangpu Mo polymetallic deposit (%)

组分	LX11-16-2						LX11-16-3	
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08
SiO ₂	42.56	49.44	51.08	50.71	52.70	51.40	52.65	49.14
TiO ₂		0.07	0.08	0.03	0.07	0.06	0.16	0.24
Al ₂ O ₃	7.74	2.81	2.67	3.21	2.11	2.51	2.12	3.31
TFeO	22.20	18.66	18.94	18.52	18.94	18.15	17.83	20.85
MnO	0.77	0.68	0.66	0.59	0.76	0.61	0.46	0.45
MgO	11.72	11.49	11.55	11.83	10.94	11.62	11.57	9.55
CaO	7.20	11.02	11.17	11.09	12.27	11.63	12.30	12.05
Na ₂ O	0.12	0.22	0.19	0.12	0.21	0.28	0.53	0.54
K ₂ O	0.02	0.06	0.06	0.10	0.08	0.11	0.13	0.16
以23个氧原子为基准								
Si	6.8302	7.6150	7.6883	7.6320	7.7983	7.7192	7.7827	7.5313
Al ^{IV}	1.1698	0.3850	0.3117	0.3680	0.2017	0.2808	0.2173	0.4687
Al ^{VI}	0.2932	0.1246	0.1614	0.2015	0.1662	0.1635	0.1511	0.1294
Ti		0.0083	0.0091	0.0036	0.0080	0.0070	0.0179	0.0276
Fe ³⁺	0.5416	0.8399	0.9003	0.8929	0.9517	0.8970	0.8971	0.7624
Fe ²⁺	2.4377	1.5637	1.4839	1.4383	1.3921	1.3822	1.3070	1.9101
Mn	0.1043	0.0892	0.0840	0.0746	0.0948	0.0772	0.0570	0.0578
Mg	2.8043	2.6391	2.5922	2.6536	2.4124	2.6021	2.5488	2.1810
Ca	1.2372	1.8186	1.8018	1.7876	1.9460	1.8713	1.9486	1.9784
Na	0.0358	0.0654	0.0563	0.0362	0.0614	0.0821	0.1516	0.1605
K	0.0043	0.0112	0.0108	0.0188	0.0157	0.0205	0.0238	0.0305
阳离子总数	15.4584	15.1601	15.0997	15.1071	15.0483	15.1030	15.1029	15.2376

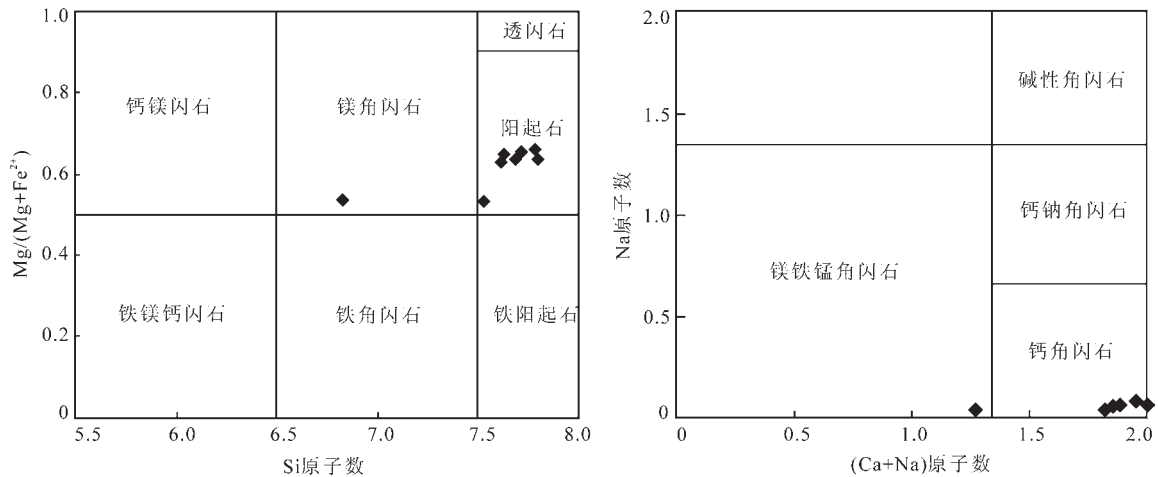


图7 邦铺钼多金属矿床角闪石分类图解(底图据[20])

Fig.7 Classification of amphiboles from the Bangpu Mo polymetallic deposit (modified after [20])

表6 邦铺钼多金属矿床绿帘石电子探针分析结果(%)

Table 6 Electron microprobe analyses of chlorite from the Bangpu Mo polymetallic deposit (%)

组分	LX11-16-1									
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10
SiO ₂	37.49	38.03	38.37	38.09	38.29	38.00	38.01	37.87	37.25	37.90
TiO ₂	0.07	0.06	0.06	0.36	0.11	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06
Al ₂ O ₃	22.34	21.70	21.23	22.24	22.70	22.36	22.44	21.45	22.64	21.86
Cr ₂ O ₃	0.20	0.10	0.02	0.01		0.08	0.04	0.17		
TFeO	12.61	12.39	14.06	12.20	11.79	12.53	12.68	13.56	12.15	12.48
MnO	0.08	0.06	0.12	0.05	0.06	0.38	0.34	0.07	0.10	0.05
MgO	0.04	0.01	0.02	0.07	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03
CaO	23.92	24.12	24.16	24.60	24.01	23.50	23.41	23.89	24.04	24.19
Na ₂ O	0.05		0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02
K ₂ O	0.02			0.01		0.00		0.02		
总量	96.81	96.45	98.04	97.65	96.99	96.90	96.98	97.11	96.24	96.59

化有关的矽卡岩研究,提出了锰质矽卡岩建造概念^[25]。钙矽卡岩矿物主要由钙铁-钙铝系列石榴子石、透辉石-钙铁辉石系列辉石、硅灰石和方柱石等组成,围岩为灰岩^[18]。锰质矽卡岩中矿物组合主要为锰钙铁辉石、锰钙辉石、钙蔷薇辉石、蔷薇辉石、锰三斜辉石、锰铝榴石、锰质阳起石等^[18]。邦铺铅锌矿区矽卡岩矿物组合以钙铁榴石、透辉石、钙铁辉石、硅灰石、阳起石、绿帘石等为主,含一定量的锰钙辉石、铁钙蔷薇辉石和锰铝榴石。由此推知,邦铺矿床矽卡岩兼具钙矽卡岩和锰质矽卡岩的特征,而以钙矽卡岩为主,局部为锰质矽卡岩建造。另外,用于分析测试的铁钙蔷薇辉石样品采自铅锌矿体老采坑附近,因此,锰质矽卡岩空间位置上较平

硃PD8更靠近矿区北部二长花岗斑岩体,该段亦为铅锌矿主矿体北侧组成部分。

矽卡岩矿物成分能够提供关于矽卡岩和成矿环境的重要信息^[24,26-28]。石榴子石和辉石的组成能够指示矽卡岩系统的氧化还原状态,还原型矽卡岩主要发育钙铝榴石和钙铁辉石,氧化型矽卡岩则以钙铁榴石和透辉石为主^[26,29]。电子探针分析结果表明,邦铺矿床石榴子石绝大多数为钙铁榴石(大于93%),单斜辉石中透辉石较钙铁辉石含量略高,这种矽卡岩矿物组合表明矿床早期矽卡岩阶段处于明显的氧化环境。另外,矿床早期矽卡岩矿物中发育一定量的硅灰石,而纯硅灰石的形成需要较高的氧逸度^[22],这也印证了早期矽卡岩形成时确为氧化

条件。前人研究资料表明,钙铝榴石或钙铁铝榴石主要受流体扩散交代作用形成,而钙铁榴石则受岩浆流体的影响大一些^[30]。邦铺铅锌矿床石榴子石以钙铁榴石为主,其形成于典型氧化环境中,由此推知形成钙铁榴石的岩浆流体也应具有较高的氧逸度。该点与矿床斑岩体钾化蚀变黑云母电子探针分析所得到的成矿岩浆流体早期具高氧逸度的特征相吻合(未刊资料)。

4.2 矿化类型与找矿建议

Nakano等(1994)指出,辉石 Mn/Fe 比值变化可以指示矽卡岩金属矿化的类型^[31]。赵一鸣等(1997)研究表明,矽卡岩铁、金矿床和部分铜矿床中辉石的 Mn/Fe 比值较低,大多小于 0.1;矽卡岩铅锌矿床中锰钙铁辉石的 Mn/Fe 比值大多高于 0.1,其 Mg/Fe 比值小于 1;矽卡岩钨矿床中辉石的 Mn/Fe 比值多介于 0.1~0.3,比铅锌矿床中的稍低,但其 Mg/Fe 比值明显要高,为 1~4;矽卡岩铜、钼矿床中透辉石的 Mg/Fe 比值和矽卡岩铁、金矿床中的透辉石大体一致,但其 Mn/Fe 比值则要稍高一些^[32]。邦铺矿床单斜辉石 Mn/Fe 比值变化范围为 0.10~0.30; Mg/Fe 比值 0.59~1.80,指示其矿化类型为多金属矿化,与地质事实一致。

锰质矽卡岩往往与 Pb、Zn、Ag 矿化有着密切关系,锰质矽卡岩是评价含 Pb、Zn、Ag 矽卡岩的重要标志^[33]。邦铺矿床发育锰含量较高的铁钙蔷薇辉石、锰钙辉石及少量锰铝榴石,指示矿区可能发育 Ag 矿化。矿床部分铅锌矿石中 Ag 含量最高可达几千 $\mu\text{g/g}$ (员绍让私人通讯);周雄(2012)对铅锌矿石进行了电子探针分析,结果显示 Ag 含量亦可达 890 $\mu\text{g/g}$ ^[34];另外,在镜下观察过程中可见银矿物(碲银矿等)。上述特点与前人研究锰质矽卡岩与矿化元素组合所得结果基本一致^[33,35]。但是,在邦铺矿区开展银矿找矿工作仍未得到重视,本次研究为下一步寻找 Ag 矿提供了理论基础。

5 结 论

(1)邦铺铅锌矿属典型矽卡岩成因,蚀变和矿化分带特征清晰。石榴子石端员组分以钙铁榴石为主,含少量锰铝榴石和钙铝榴石;单斜辉石为透辉石-钙铁辉石系列,含一定量锰钙辉石,似辉石可能为铁钙蔷薇辉石;角闪石多数为阳起石,具钙角

闪石属性。

(2)邦铺矿床矽卡岩兼具钙矽卡岩和锰质矽卡岩矿物组成特征,矿床早期矽卡岩形成于高氧逸度环境,成矿岩浆流体亦具有较高氧逸度。

(3)锰质矽卡岩的存在指示矿床存在 Ag 矿找矿潜力,为矿区下一步找矿工作提供了思路。

致谢:野外期间得到西藏金和矿业有限公司员绍让工程师的热情帮助,电子探针分析试验中陈振宇副研究员和陈小丹给予悉心指导,审稿过程中相关专家提出了宝贵的意见和建议,在此一并致谢。

参考文献(References):

- [1] 秦克章,李光明,赵俊兴,等. 西藏首例独立钼矿—冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 2008,35(6): 1101-1112.
Qin Kezhang, Li Guangming, Zhao Junxing, et al. Discovery of sharing large-scale porphyry molybdenum deposit, the first single Mo deposit in Tibet and its significance[J]. Geology in China, 2008, 35(6): 1101-1112(in Chinese with English abstract).
- [2] 孟祥金,侯增谦,高永丰,等. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系统的发育时限:帮浦铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 246-252.
Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, et al. Development of porphyry copper-molybdenum-lead-zinc ore-forming system in East Gangdese Belt, Tibet: Evidence from Re-Os ages of molybdenite in Bangpu copper polymetallic deposit[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(3): 246-252(in Chinese with English abstract).
- [3] 周雄,温春齐,温泉,等. 西藏邦铺大型斑岩钼-铜矿床二长花岗斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(4): 373-377.
Zhou Xiong, Wen Chunqi, Wen Quan, et al. Zircon U-Pb SHRIMP dating of the monzonite granite-porphyry from the Bangpu large porphyry molybdenum-copper deposits, Tibet, and its geological significance[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2010, 29(4): 373-377 (in Chinese with English abstract).
- [4] 温泉,多吉,温春齐,等. 西藏邦铺铜钼矿区花岗斑岩成岩年龄研究[J]. 矿物岩石, 2011, 31(2): 48-53.
Wen Quan, Duo Ji, Wen Chunqi, et al. Dating of monzoitic granite porphyry in the Bangpu Mo-Cu deposit, Tibet[J]. J. Mineral Petro., 2011, 31(2): 48-53(in Chinese with English abstract).
- [5] Wang Liqiang, Chen Yuchuan, Tang Juxing, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of intermediate-acidic intrusive rocks and molybdenite Re-Os dating from the Bangpu Mo (Cu) deposit, Tibet and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2012, 86(5): 1225-1240.
- [6] 周雄,温春齐,张学全,等. 西藏邦铺铜钼多金属矿床硫、铅同位

- 素地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2012, 48(1): 24-29.
Zhou Xiong, Wen Chunqi, Zhang Xuequan, et al. Geochemical characteristics of sulfur and lead isotopes from the Bangpu Mo-Cu polymetallic deposit, Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48(1): 24-29(in Chinese with English abstract).
- [7] 王立强, 罗茂澄, 袁志洁, 等. 西藏邦铺铅锌矿床S、Pb、C、O同位素组成及成矿物质来源研究[J]. 地球学报, 2012, 33(4): 435-443.
Wang Liqiang, Luo Maocheng, Yuan Zhijie, et al. Sulfur, lead, carbon and oxygen isotope composition and source of ore-forming materials of the Bangpu Pb-Zn deposit in Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(4): 435-443(in Chinese with English abstract).
- [8] 周雄, 温春齐, 霍艳, 等. 西藏墨竹工卡地区邦铺铜多金属矿床成矿流体特征[J]. 地质通报, 2010, 29(7): 1039-1048.
Zhou Xiong, Wen Chunqi, Huo Yan, 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(in Chinese with English abstract).
- [9] 罗茂澄, 毛景文, 王立强, 等. 西藏邦铺斑岩铜矿床岩浆-热液流体演化: 流体包裹体研究[J]. 地球学报, 2012, 33(4): 471-484.
Luo Maocheng, Mao Jingwen, Wang Liqiang, 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(in Chinese with English abstract).
- [10] 王立强, 唐菊兴, 王登红, 等. 西藏墨竹工卡县邦铺铜(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 Liqiang, Tang Juxing, Wang Denghong, 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 (in Chinese with English abstract).
- [11] 黄凡, 王登红, 陈毓川, 等. 中国钼矿中辉钼矿的稀土元素地球化学及其应用[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 287-301.
Huang Fan, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. REE characteristics of molybdenites from endogenous molybdenum deposits in China[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 287-301(in Chinese with English abstract).
- [12] 王立强, 唐菊兴, 陈毓川, 等. 西藏邦铺铜(铜)矿床含矿二长花岗斑岩LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(2): 349-361.
Wang Liqiang, Tang Juxing, Chen Yuchuan, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of ore-forming monzogranite porphyry in Bangpu molybdenum (copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 2011, 30(2): 349-361(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈伟, 王立强, 胡正华, 等. 西藏邦铺铅锌矿区石英二长斑岩锆石U-Pb年龄、Hf同位素和稀土元素特征及其地质意义[J]. 地球学报, 2012, 33(4): 569-578.
Chen Wei, Wang Liqiang, Hu Zhenghua, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotope and REE of quartz monzonite porphyry in the Bangpu Pb-Zn mining area of Tibet and their geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(4): 569-578(in Chinese with English abstract).
- [14] 彭惠娟, 张长青, 周云满, 等. 云南省中甸红牛铜矿床地质地球化学特征[J]. 中国地质, 2012, 39(6): 1743-1758.
Peng Huijuan, Zhang Changqing, Zhou Yunman, et al. Geological and geochemical characteristics of Hongniu copper deposit in Zhongdian area, northeastern Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1743-1758(in Chinese with English abstract).
- [15] 王焕, 唐菊兴, 王立强, 等. 西藏墨竹工卡地区甲玛铜多金属矿床矽卡岩矿物学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2011, 30(5): 783-797.
Wang Huan, Tang Juxing, Wang Liqiang, et al. Mineralogical characteristics of skarns in the Jiama copper polymetallic deposit of Mozhonggogka area, Tibet and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(5): 783-797(in Chinese with English abstract).
- [16] 林立娟, 唐菊兴, 王登红, 等. 西藏甲玛超大型铜矿石榴子石特征及成因意义[J]. 地质学报, 2012, 86(11): 1735-1745.
Ying Lijuan, Tang Juxing, Wang Denghong, et al. Features of garnet in the Jiama super-large Cu polymetallic deposit and its genetic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(11): 1735-1745(in Chinese with English abstract).
- [17] 周振华, 刘宏伟, 常帼雄, 等. 内蒙古黄岗锡铁矿床矽卡岩矿物学特征及其成矿指示意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(1): 97-112.
Zhou Zhenhua, Liu Hongwei, Chang Guoxiong, et al. Mineralogical characteristics of skarns in the Huanggang Sn-Fe deposit of Inner Mongolia and their metallogenic indicating significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 30(1): 97-112(in Chinese with English abstract).
- [18] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 1-115.
Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, et al. Skarn Type Ore Deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012: 1-115(in Chinese).
- [19] 赵良超, 孙淑娟. 高钙钙蔷薇辉石的产出地质特征和晶体化学特征[J]. 吉林地质, 1996, (2): 42-49.
Zhao Liangchao and Sun Shujuan. The geological and crystal chemical features of high-calcium bustamits[J]. *Jilin Geology*, 1996, (2): 42-49(in Chinese with English abstract).
- [20] Leake B E, Wolley A, Rand Arps C E S. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names[J]. *American Mineralogist*, 1997, 82:

- 1019-1037.
- [21] 张志欣, 杨富全, 罗五仓, 等. 新疆阿尔泰乌吐布拉克铁矿床矽卡岩矿物特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(2): 267-280.
- Zhang Zhixin, Yang Fuquan, Luo Wucang, et al. Skarn mineral characteristics of the Wutubulake iron deposit in Altay, Xinjiang, and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(2): 267-280(in Chinese with English abstract).
- [22] 于淼, 丰成友, 保广英, 等. 青海尕斯库勒格铁矿床矽卡岩矿物学及蚀变分带[J]. 矿床地质, 2013, 32(1): 55-76.
- Yu Miao, Feng Chengyou, Bao Guangying, et al. Characteristics and zonation of skarn minerals in Galinge iron deposit, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(1): 55-76(in Chinese with English abstract).
- [23] 潘兆樽, 赵爱醒, 潘铁红. 结晶学及矿物学(下册)[M]. 北京:地质出版社, 1993: 282.
- Pan Zhaolu, Zhao Aixing, Pan Tiehong. The Crystallography and Mineralogy (volume 2) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 282(in Chinese).
- [24] Einaudi M T, Meinert L D, Newberry R J. Skarn deposits[J]. Economic Geology, 1981, 75th Anniv., 317-391.
- [25] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社, 1990: 354.
- Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, et al. Skarn Type Ore Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 354(in Chinese).
- [26] Lu Huangzhang, Liu Yimao, Wang Changlie, et al. Mineralization and fluid inclusion study of the Shizuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn deposit, Hunan Province, China[J]. Economic Geology, 2003, 98: 955-974.
- [27] Ahmed Z, Hariri M M. Formation and mineral chemistry of a calcic skarn from Al-madhiq, SW Saudi Arabia[J]. Chemie der Erde Geochemistry, 2006, 66: 187-201.
- [28] 刘晓菲, 袁顺达, 吴胜华, 等. 湖南金船塘锡铋矿床矿物化学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39 (6): 1759-1777.
- Liu Xiaofei, Yuan Shunda, Wu Shenghua, et al. Mineralogical chemistry of the Jinchuantang tin-bismuth deposit in Hunan Province and its geological significance[J]. Geology in China, 2012, 39 (6): 1759-1777(in Chinese with English abstract).
- [29] Misra K C. Understanding Mineral Deposit[M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [30] Gaspar L M and Inverno C M C. Mineralogy and metasomatic evolution of distal strata-bound scheelite skarns in the Riba de Alva Mine, northeastern Portugal[J]. Economic Geology, 2000, 95: 1259-1275.
- [31] Nakano T, Yoshino T, Shimazaki H, et al. Pyroxene composition as an indicator in the classification of skarn deposits[J]. Economic Geology, 1994, 89(7): 1567-1580.
- [32] 赵一鸣, 张铁男, 林文蔚. 我国矽卡岩矿床中的辉石和似辉石特征及其与金属矿化的关系[J]. 矿床地质, 1997, 16(4): 318-329.
- Zhao Yiming, Zhang Yi'nan, Lin Wenwei. Characteristics of pyroxenes and pyroxenoids in skarn deposits of China and their relationship with metallization[J]. Mineral Deposits, 1997, 16(4): 318-329(in Chinese with English abstract).
- [33] 赵一鸣. 矽卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 113-120.
- Zhao Yiming. Some new important advances in study of skarn deposit[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(2): 113-120 (in Chinese with English abstract).
- [34] 周雄. 西藏邦铺钼铜多金属矿床成因研究[D]. 成都理工大学博士学位论文, 2012: 67-68.
- Zhou Xiong. Genesis Study of Mo-Cu Polymetallic Deposit from the Bangpu, Tibet[D]. Ph. D. Thesis, Chengdu University of Technology, 2012:67-68(in Chinese with English abstract).
- [35] 丰成友, 赵一鸣, 李大新, 等. 青海西部祁漫塔格地区矽卡岩型铁铜多金属矿床的矽卡岩类型和矿物学特征[J]. 地质学报, 2011, 85(7): 1108-1114.
- Feng Chengyou, Zhao Yiming, Li Daxin, et al. Skarn types and mineralogical characteristics of Fe-Cu polymetallic skarn deposits in the Qimantage area, West Qinghai Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(7): 1108-1114(in Chinese with English abstract).

Mineralogical characteristics of skarn in the Bangpu Mo polymetallic deposit, Tibet, and their geological significance

WANG Li-qiang^{1,2}, TANG Ju-xing¹, CHEN Wei¹, LUO Mao-Cheng²,
KANG Hao-ran¹, LENG Qiu-feng³

(1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)*

Abstract: The skarn type Pb-Zn ore body of the Bangpu superlarge Mo polymetallic ore deposit is hosted in the skarn and marble of the Lower Permian Luobadui Formation. The orebodies occur as stratoids or lenses, and lots of skarn minerals are developed in the ore deposit. In order to further clarify the species of skarn minerals and types of the skarn and analyze the forming environment of skarn and its relationship with the mineralization types, the authors studied the chemical composition of the main skarn minerals by using electron microprobe technology based on the systematic microscope observation. Electron microprobe analyses show that the end member of garnet is mainly andradite with a small amount of spessartite and grossularite. Pyroxene comprises mainly diopside and hedenbergite with a certain amount of johannsenite. Pyroxenoids consist mainly of ferrobustamite, and the end member of amphiboles is dominated by calcium actinolite. Fe and Mg content of epidote is very low. Skarn mineral assemblages show that the skarn of the Bangpu deposit has characteristics of both calcic skarn and manganoan skarn. The skarn of the early stage formed in a strong oxidizing environment, so did the ore-forming magmatic fluid. The discovery of manganoan skarn mineral assemblages indicates that the prospecting potential of Ag in the Bangpu polymetallic ore deposit is promising, and this study provides some theoretical support for the next step prospecting work.

Key words: Mo polymetallic ore deposit; calcic skarn; manganoan skarn; Bangpu; Tibet

About the first author: WANG Li-qiang, male, born in 1984, assistant researcher, engages in the study of mineralogy, petrology and mineral deposit geology; E-mail: wlq060301@163.com.