

# 乌奴格吐山斑岩铜钼矿床中 金属矿物的特征

陈殿芬 艾永德 李荫清

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

**主题词** 金属矿物 斑岩铜钼矿床 内蒙 乌奴格吐山

**提 要** 乌奴格吐山矿床是一个大型斑岩铜钼矿床。金属矿物中以贯通性矿物黄铁矿含量最多。钼、铜、铅锌三个主要成矿阶段,黄铁矿的平均温度分别为 331 °C、228 °C < 200 °C。黄铁矿中 Co、Ni、As 等微量元素特征为成矿物质来源提供了重要信息。辉钼矿是唯一重要的钼矿物,主要赋存在石英-钾长石化带,以 2H 型为主。铜矿物有黄铜矿、锌砷黝铜矿、斑铜矿等,以黄铜矿为主,主要赋存在石英-绢云母-水白云母化带。不同世代黄铜矿微量元素的差异反映了成矿溶液的变化。方铅矿、闪锌矿主要赋存于石英-伊利石-水白云母化带。闪锌矿贫铁 ( $X_{FeS} = 4 \text{ mol\%} - 8 \text{ mol\%}$ ),方铅矿含 Ag (0.01% - 0.35%)。

乌奴格吐山矿床是一个大型斑岩铜钼矿床<sup>[1]</sup>,许多学者对该矿床的地质特征、围岩蚀变等进行了详细研究,但对金属矿物的研究却不多。众所周知,金属矿物是矿床的主要组成部分,对它的研究不但可为矿床的合理评价和开发利用提供可靠依据,而且还能为矿床成因提供重要信息。本文主要讨论乌奴格吐山矿床中几种重要金属矿物的特征。笔者在野外地质调查及前人工作的基础上对矿物、岩石进行了大量显微镜观察,并对有代表性的矿物做了化学分析、电子探针及 X 射线衍射。矿物反射率是由笔者用 MPV-1 型显微光度计测定的。电子探针分析由本所陈克樵副研究员完成。

## 1 地质概况

乌奴格吐山铜钼矿床位于额尔古纳加里东褶皱系东缘中生代火山盆地边部的相对隆起区,即北东向额尔古纳-呼伦深大断裂西北侧。区内断裂构造发育,主要有北东、北西及北西西向三组。北东与北西向断裂交汇处为火山-岩浆活动中心,构成略向北西倾斜的构造破碎带,控制着岩体分布。岩体由燕山早期的黑云母花岗岩及燕山晚期的流纹质晶屑凝灰熔岩、二长花岗斑岩、英安质流纹质角砾熔岩等组成。黑云母花岗岩是主要含矿围岩,二长花岗斑岩是成矿母岩<sup>[1]</sup>。蚀变带环绕二长花岗斑岩体呈北东向环状分布。自二长花岗斑岩体由内向外可分三个带:(1)石英-钾长石化带,主要发育在二长花岗斑岩中,是钼矿体的主要赋存部位;(2)石英-绢云母-水白云母化带,发育在黑云母花岗岩、流纹质凝灰熔岩及二长花岗斑岩的小岩枝中,是铜矿体的主要赋存部位;(3)伊利石-水白云母化带,发育

在黑云母花岗岩、流纹质晶屑凝灰熔岩中, 矿化以脉状黄铁矿为主, 伴有铅锌矿化(图1)。这三个蚀变带与矿化的三个主要成矿阶段(钼矿化、铜矿化、铅锌矿化)相当。

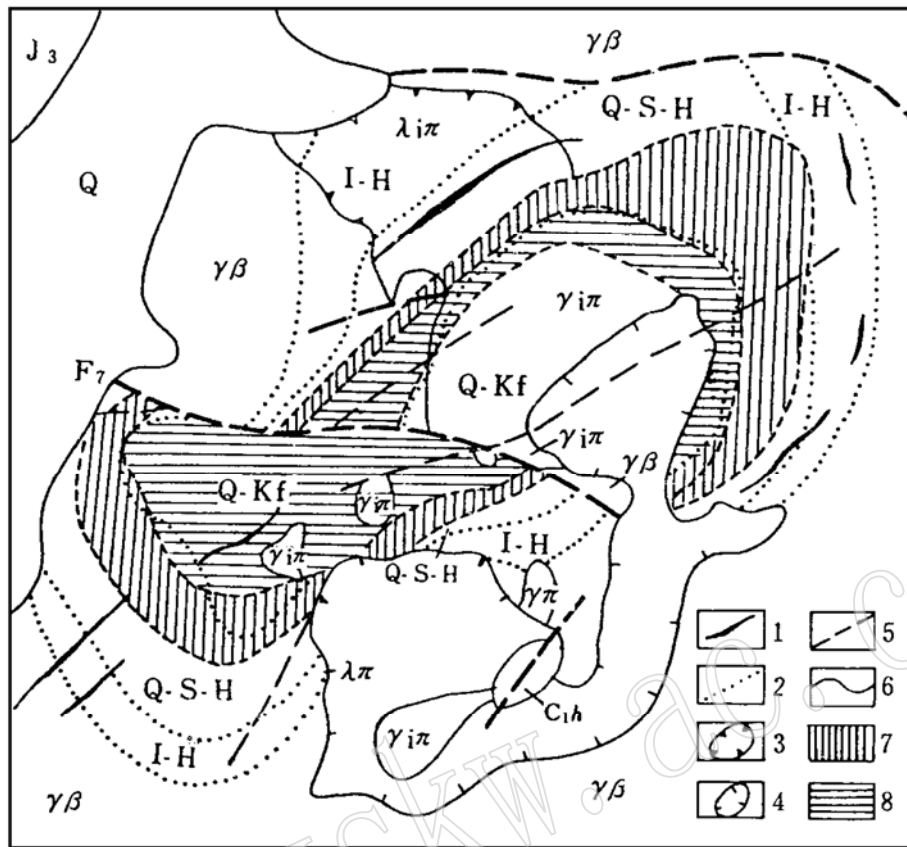


图1 乌奴格吐山斑岩铜钼矿床地质略图

Fig. 1 Schematic geological map of the Wunugetushan porphyry copper-molybdenum deposit

(据有色706队资料修编)

Q—第四系; J<sub>3</sub>—侏罗系上统安山玢岩; C<sub>1h</sub>—古生代安山岩、结晶灰岩; λπ—流纹质角砾凝灰熔岩;

γiπ—二长花岗斑岩; λiπ—流纹质晶屑凝灰熔岩; γβ—黑云母花岗岩; γπ—花岗斑岩;

I-H—伊利石-水白云母化带; Q-S-H—石英-绢云母-水白云母化带; Q-Kf—石英-钾长石化带; 1—流纹斑岩;

2—蚀变带界线; 3—火山管道构造; 4—爆发角砾岩筒; 5—断层; 6—地质界线; 7—铜矿化; 8—钼矿化

铜钼矿体的形态、产状与成矿岩体一致, 平面上呈空心环状, 剖面上为一向北西倾斜的筒状体。矿石呈细脉-浸染状, 以铜钼矿化为主, 伴有铅锌矿化。主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿, 其次是闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、锌砷黝铜矿、铜蓝、金红石等。脉石矿物有石英、绢云母、水白云母、黑云母、钾长石、伊利石、铁白云石等。

## 2 黄铁矿及其微量元素

黄铁矿是金属矿物中含量最多的矿物。虽然整个成矿过程中都有黄铁矿晶出, 但有成矿意义的主要有三个世代, 它们的平均爆裂温度相应是 331 °C、232 °C、< 200 °C(中国地质大学找矿勘探研究室测定)。黄铁矿<sub>I</sub>主要发育于石英-钾长石化带, 呈粗粒他形或立方体晶形, 与石英、长石、辉钼矿共生, 常被晚期黄铜矿或铅锌矿脉穿插、交代。黄铁矿<sub>II</sub>主要发育于石英-绢云母-水白云母化带, 呈中粗粒他形, 或呈立方体、五角十二面体晶形, 有时

亦呈角砾状被伊利石、水白云母胶结,与黄铜矿、石英、绢云母共生。黄铁矿<sub>III</sub>呈宽约1—3mm的细脉发育于伊利石—水白云母化带,与方铅矿、闪锌矿及少量黄铜矿共生。

电子探针分析结果表明(5个样品平均),黄铁矿的化学成分(%)是:S53.16、Fe46.47、Co0.04、Ni0.01、As0.126、Au0.004, Co/Ni=4。黄铁矿的晶体化学式为:Fe<sub>1.003</sub>S<sub>2</sub>。不同世代黄铁矿的微量元素特征是不同的。黄铁矿<sub>I</sub>富含Pb、Zn、Co、Ni;黄铁矿<sub>II</sub>富Se,贫Pb、Zn、Co、Ni;黄铁矿<sub>III</sub>明显地富Zn、Cd、Ag(表1)。不同世代黄铁矿微量元素的差异反映了不同成矿阶段成矿溶液的变化。

表1 乌奴格吐山斑岩铜钼矿床中黄铁矿的微量元素含量( $10^{-6}$ )及其比值

Table 1 Minor element contents ( $10^{-6}$ ) as well as their ratios

in pyrites from the Wunugetushan porphyry copper-molybdenum deposit

矿物		黄铁矿 <sub>I</sub> (2个样平均)	黄铁矿 <sub>II</sub> (2个样平均)	黄铁矿 <sub>III</sub>
序号		1	2	3
元 素 含 量  ( $10^{-6}$ )	Zn	1911	143.75	8700
	Pb	1590	151.5	496
	Co	90.75	27.55	87.6
	Ni	26	9.35	7.7
	Ag	22	5	39
	Cd	16	2.65	125
	Ga	< 3	5.85	7.2
	Ge	< 2	< 2	< 2
	In	< 1	< 1	2
	Tl	< F1	< 1	< 1
	Te	27.95	< 5	11.6
	Se	26	44.4	34.8
	As	663.5	127.5	1190
	Zn/Pb		1.2	0.95
Co/Ni		3.5	2.95	11.38
Se/Te		0.93	> 8.88	3
成矿阶段		钼矿化阶段	铜矿化阶段	铅锌矿化阶段

分析者: 国家地质实验测试中心 李宇红

斑岩铜(钼)矿床的黄铁矿中, Co、Ni含量一般在  $100 \times 10^{-6}$ — $500 \times 10^{-6}$  范围内, Co/Ni = 1.14—1.67。本矿床内黄铁矿的 Co、Ni 含量很低, 5 个化学分析结果的平均值相应为  $64.84 \times 10^{-6}$  和  $15.6 \times 10^{-6}$  (表 2), 与沉积成因的黄铁矿 (Co  $0.5 \times 10^{-6}$ — $18 \times 10^{-6}$ , Ni  $4.5 \times 10^{-6}$ — $44 \times 10^{-6}$ )<sup>[2]</sup> 相似。但是, 由于热液蚀变作用的结果, 其 Co/Ni > 1, 与斑岩铜(钼)矿床的黄铁矿特征一致(表 1, 表 2), 与沉积成因的黄铁矿 (Co/Ni < 1) 又有明显区别<sup>[2]</sup>。另外, 本矿床内黄铁矿的 As 含量比其它斑岩铜(钼)矿床高得多, 大致高出 1.84—19.62 倍。在 Co—Ni—As 三角图中, 它们远离大多数斑岩铜(钼)矿床分布区(图 2), 而处于沉积或层控成因黄铁矿分布的区域<sup>[2]</sup>。黄铁矿的 Co、Ni、As 等微量元素特征, 反映其不是来自地幔。这与王之田等的研究结果类似。据他们研究, 乌奴格吐山矿床 Mo、Co、Ni 等组份主要来自围岩, 即上地壳下部物质重熔而成的黑云母花岗岩<sup>[1]</sup>。

表 2 中国一些斑岩铜(钼)矿床黄铁矿的 Co、Ni 含量( $10^{-6}$ ) 及比值  
 Table 2 Co and Ni contents( $10^{-6}$ ) and Co/Ni ratios of pyrites  
 from some porphyry copper(molybdenum) deposits of China

矿床	样品数	Co	Ni	Co/Ni	资料来源
乌奴格吐山	5	64.84	15.6	4.16	本文
玉龙	2	455	350	1.3	参考文献[3]
多霞多	2	530	400	1.33	同上
铜厂	不详	260	227	1.15	参考文献[4]
城门山	13	347	176	1.97	季绍新等, 1990
宝山	2	275	165	1.7	同上
多宝山	14	184	56	3.29	汪之明等, 1979
富家坞	16	318	261	1.22	同上
白乃庙	6	630	330	1.90	魏明秀, 1984
东雷湾	3	303	240	1.3	季绍新等, 1990

### 3 辉钼矿

辉钼矿为鳞片状, 集合体呈放射状、束状、花瓣状, 与石英共生, 主要发育于石英-钾长石化带中。经电子探针分析, 与辉钼矿共生的他形粒状石英含  $\text{SiO}_2$  99.38%、 $\text{K}_2\text{O}$  0.06%、 $\text{CaO}$  0.01%、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0.08%、 $\text{MnO}$  0.03%、 $\text{FeO}$  0.19%。镜下观察, 辉钼矿的双反射很明显, 反射率  $R_0$ 、 $R_e'$  分别为(%): 42, 18.5 (480nm); 37.1, 18 (546nm); 36, 17.8 (589nm); 37, 18.2 (656nm)。经 X 射线衍射分析, 本区辉钼矿主要是 2H 型, 少量 2H+3R 型。2H 型辉钼矿的主要衍射谱是: 6.12(100), 2.46(1.05), 2.28(2.84), 1.82(2.04); 2H+3R 型的主要衍射谱线是: 6.12(100), 2.28(2.84), 2.04(13.45), 1.53(11.13) (中国地质科学院矿床所张汉卿测定)。辉钼矿中含微量 Fe、Cu、Zn、Au、Ag 等,

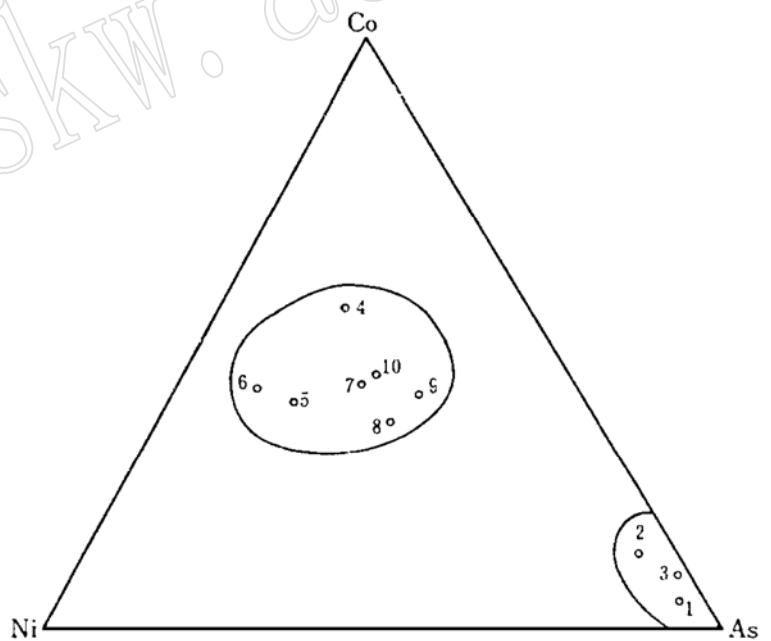


图 2 中国一些斑岩铜(钼)矿床中黄铁矿的 Co-Ni-As 原子百分比

Fig. 2 Triangular diagram showing atomic ratio of Co-Ni-As of pyrites from some porphyry copper (molybdenum) deposits of China  
 图中投影点编号代表的矿床: 1—3—乌奴格吐山(表 1);  
 4—城门山; 5—武山; 6—丁家山; 7—列石湾;  
 8—东雷湾; 9—宝山; 10—铜厂  
 资料来源: 除文中已提及的外, 还有 4—9, 季绍新等(1990)

其电子探针分析结果(%)是: S 39.06, Fe 0.02, Cu 0.08, Zn 0.05, Ag 0.51, Au 0.04, Mo 59.40, 总量 99.16。晶体化学式为:  $\text{Mo}_{0.1.03}\text{S}_2$ 。据王之田等资料<sup>[1]</sup>, 辉钼矿中含  $\text{Re} 35 \times 10^{-6}$ , 其含量不但低于那些以铜为主的斑岩矿床(辉钼矿含  $\text{Re} 180 \times 10^{-6} - 1800 \times 10^{-6}$ ), 而且比多霞松多(辉钼矿含  $\text{Re} 150 \times 10^{-6}$ )、马拉松多(辉钼矿含  $\text{Re} 116 \times 10^{-6}$ )<sup>[3]</sup>等斑岩铜钼矿床还低得多。这可能与钼的物质来源和岩体的分异指数有关。前已述及 Mo 主要由上地壳重熔成因的黑云母花岗岩提供。而与这种岩浆有关的辉钼矿中 Re 含量通常比与深源岩浆相联系的辉钼矿低<sup>[3]</sup>。芮宗瑶等研究(1984)表明, 辉钼矿中 Re 的含量与岩体的分异指数呈反比。乌奴格吐山岩体分异完全, 其分异指数( $\text{DI} = 89.4 - 92.4$ )<sup>[1]</sup>比多霞松多、马拉松多岩体高得多。后两者的分异指数 DI 在 80.69—87.20 之间<sup>[3]</sup>。

## 4 铜矿物及金红石

铜矿物主要是黄铜矿, 少量为锌砷黝铜矿、斑铜矿、铜蓝、辉铜矿等。它们主要分布在石英-绢云母-水白云母化带。金红石虽然不是铜矿物, 但它多与黄铜矿等铜矿物共生, 故在此一并叙述。与铜矿物共生的脉石矿物除绢云母、水白云母外, 主要是石英和铁白云石。据电子探针分析, 与铜矿物共生的石英含有较多杂质元素, 其分析结果(%)是:  $\text{SiO}_2$  98.85,  $\text{MgO}$  0.03,  $\text{K}_2\text{O}$  0.03,  $\text{CaO}$  0.40,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0.09,  $\text{MnO}$  0.44,  $\text{FeO}$  0.11, 总量 99.95(2个样品平均)。铁白云石含  $\text{MgO}$  9.67%,  $\text{CaO}$  37.55%,  $\text{FeO}$  11.86% (电子探针分析)。

### 4.1 黄铜矿

早期黄铜矿形成于铜矿化阶段, 多呈他形粒状沿黄铁矿<sub>1</sub>颗粒边缘或裂隙分布。晚期黄铜矿形成于铅锌矿化阶段, 含量不多, 常与方铅矿、闪锌矿一起沿早期黄铁矿、黄铜矿裂隙分布。黄铜矿反射率  $R = 44\%$  (546nm), 其晶体化学式为:  $\text{Cu}_{1.02-1.07}\text{Fe}_{1.02-1.07}\text{S}_2$ , 与理论式相比, Cu、Fe 过剩, S 不足。从表 3 可看出, 早晚两期黄铜矿的微量元素略有不同。早期黄铜矿除 Ni 外普遍含 Zn, 晚期黄铜矿则含 Co、Au、Ag。这在一定程度上反映了成矿过程中矿液的变化。

### 4.2 锌砷黝铜矿

显微镜下锌砷黝铜矿呈浅灰色微带橄榄绿色调的他形颗粒(0.05—0.1mm), 与黄铜矿共生。锌砷黝铜矿的颜色指数( $S_E$ ):  $R_{\text{vis}} = 29.6\%$ ,  $x = 0.3234$ ,  $y = 0.3312$ ,  $\lambda_d = 488\text{nm}$ ,  $P_e = 4.6\%$ 。与砷黝铜矿的颜色指数比较, 主波长  $\lambda_d$  近似, 而纯度  $P_e$  却比砷黝铜矿 ( $P_e = 1.4\% - 2.0\%$ ) 大<sup>[5]</sup>。因此, 镜下观察锌砷黝铜矿的橄榄绿色调更浓。

本矿床的锌砷黝铜矿含 Zn 8.79%—8.86% (表 4), 晶体化学式为:  $(\text{Cu}_{9.92}\text{Zn}_{2.01})_{11.93}\text{As}_{4.05}\text{S}_{13}$  和  $(\text{Cu}_{10}\text{Zn}_2)_{12}\text{As}_{3.8}\text{S}_{13}$ 。与江西铜厂、哈萨克斯坦的锌砷黝铜矿比较, 乌奴格吐山矿床的锌砷黝铜矿不含 Sb, 是 As-Sb 类质同象系列富 As 的端员矿物, 这在斑岩铜钼矿床中是比较少见的。

表 3 乌奴格吐山斑岩铜钼矿床黄铜矿、闪锌矿、方铅矿的电子探针分析结果(%)

Table 3 Electron microprobe analyses of chalcopyrite, sphalerite, and galena from the Wunugutushan porphyry copper-molybdenum deposit(%)

矿物	样品号	S	Fe	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Ag	Au	总计	晶体化学式	成矿阶段
黄铜矿	2-1	33.38	31.21	34.41		0.01		0.05			99.06	Cu <sub>1.04</sub> Fe <sub>1.07</sub> S <sub>2</sub>	铜矿化阶段
	3-1	34.00	30.34	34.66				0.18			99.18	Cu <sub>1.03</sub> Fe <sub>1.02</sub> S <sub>2</sub>	
	7-1	33.79	30.07	34.59		0.01		0.28	0.02		98.76	Cu <sub>1.03</sub> Fe <sub>1.03</sub> S <sub>2</sub>	
	24-1	33.94	30.97	34.08				0.13			99.12	Cu <sub>1.02</sub> Fe <sub>1.04</sub> S <sub>2</sub>	
	3-2	33.12	30.85	34.90	0.05			0.02	0.02	0.05	98.99	Cu <sub>1.07</sub> Fe <sub>1.07</sub> S <sub>2</sub>	
闪锌矿	5-2	32.11	2.46	1.23			0.01	63.28			99.09	(Zn <sub>0.97</sub> Fe <sub>0.04</sub> ) <sub>1.01</sub> S	铅锌矿化阶段
	5-2	32.77	3.32	1.70				61.22			99.01	(Zn <sub>0.94</sub> Fe <sub>0.06</sub> )S	
	9-1	33.33	4.82	0.27				59.94	1.46		99.82	(Zn <sub>0.9</sub> Fe <sub>0.08</sub> ) <sub>0.98</sub> S	
方铅矿	7-4	13.33					85.67	0.05	0.01		99.07	PbS	
	9-2	14.08	0.20			0.01	85.27		0.35		99.90	Pb <sub>0.96</sub> S	

分析者: 中国地质科学院矿床地质研究所 陈克楹

表4 锌砷黝铜矿的电子探针分析结果(%)

Table 4 Electron microprobe analyses of Zn tennantite(%)

序号	元素含量 (%)								产地	资料来源
	Cu	Zn	Fe	Ni	As	Sb	S	总量		
1	42.06	8.79		0.05	20.79		27.86	99.05	乌奴格吐山	本文
2	43.22	8.86			19.41		28.36	99.85		
3	42.22	8.64			12.97	7.88	27.56	99.27	江西铜厂	参考文献[4]
4	44.57	5.78	3.95		12.93	3.77	28.93	99.93		
5	42.76	6.28	2.01		15.98	5.20	27.71	100.00	哈萨克斯坦	参考文献[6]
6	43.10	8.10	0.20		18.50	2.00	27.90	99.80	不详	参考文献[7]

### 4.3 斑铜矿和铜蓝

矿石中斑铜矿和铜蓝的含量不多。斑铜矿呈粒状出现在石英-绢云母-水白云母化带,与早期黄铜矿、黄铁矿<sub>II</sub>共生。经电子探针分析,斑铜矿的化学成分(%)是: Cu 62.86, Fe 10.64, Zn 0.10, Au 0.01, S 26.00, 总计 99.61。斑铜矿的晶体化学式为:  $Cu_{4.9}Fe_{0.94}S_4$ , 与理论分子式相比, Fe、Cu 略有不足。铜蓝常是交代斑铜矿的产物。铜蓝的反射多色性明显,  $R_o$  呈深蓝色,  $R_e$  为浅蓝白色。铜蓝的电子探针分析结果(%)是: Cu 62.89, Fe 3.37, Ni 0.01, Zn 0.05, S 32.74, 总量 99.06。据 P. R. Simpson (1975), A. J. Criddle 和 C. J. Stanley (1985) 的资料, 铜蓝含 Fe 相应为 0.05% 和 0.10%<sup>[7]</sup>。紫金山铜金矿床铜蓝含 Fe 0%—0.92%<sup>[8]</sup>。桃林铅锌矿床铜蓝含 Fe 0.08%—1.43%<sup>[9]</sup>。显然, 本矿床的铜蓝是以富 Fe 为特征的。

### 4.4 金红石

金红石含量虽不多, 但分布普遍, 常呈短柱状、针状、不规则粒状沿蚀变黑云母、白云母的解理、裂隙产出, 或分布于黄铁矿及石英裂隙中, 与黄铜矿等铜矿物共生。镜下金红石呈浅灰色,  $R_o = 21.3\%$ ,  $R_e' = 24.4\%$  (546nm), 有时见棕色内反射。经电子探针分析, 金红石含  $TiO_2$  达 99.02%, 只含少量 MnO (0.38%)、FeO (0.53%) 等杂质, 与伟晶岩中的钛铁(铌、钽)金红石 ( $TiO_2$  33.66%—93.92%,  $Fe_2O_3$  1.03%—13.23%,  $Nb_2O_5$  0.036%—23.67%,  $Ta_2O_5$  0.017%—38.20%)<sup>[10]</sup> 有很大区别, 而与德兴斑岩铜矿的金红石 ( $TiO_2 = 99.81\%$ )<sup>[4]</sup> 相似, 属成分很纯的金红石。大多数金红石是花岗斑岩中的含钛矿物, 经含矿热流体的萃取活化转移后再结晶而成。含钛矿物除榍石外主要是黑云母。黑云母两个样品的成分, 经电子探针分析分别是(%):  $Na_2O$  1.29, 0.88;  $MgO$  7.78, 8.35;  $Al_2O_3$  17.58, 17.15;  $SiO_2$  36.90, 35.79;  $K_2O$  9.74, 9.41;  $CaO$  0.72; 0.73,  $TiO_2$  2.36, 2.92;  $Cr_2O_3$  0.97, 0.80;  $MnO$  0.65, 0.84;  $FeO$  20.31, 21.33。显然, 黑云母中  $TiO_2$  含量是比较高的。由于金红石大多形成于矿化阶段, 并与石英-钾长石化、石英-绢云母-水白云母化有关, 因此, 金红石可作为本矿床铜钼矿化的重要指示矿物。

## 5 方铅矿与闪锌矿

方铅矿与闪锌矿分布于伊利石-水白云母化带, 它们多沿早期黄铁矿、黄铜矿的裂隙进

行交代, 后二者则常呈残留的角砾分布于方铅矿- 闪锌矿集合体中。显然, 方铅矿和闪锌矿是晚期成矿阶段的产物。方铅矿呈他形粒状, 粒度 0.01—0.25mm, 反射率  $R = 40\%$  (546nm)。除 Ag (0.01%—0.35%) 外, 方铅矿中还含微量 Ni、Zn、Fe 等杂质(表 3)。闪锌矿呈他形粒状, 粒度 0.01—0.1mm,  $R = 17.5\%$  (546nm), 浅黄色内反射明显, 透射光下可见清楚的环带结构。闪锌矿中常含细小的黄铜矿乳滴。从表 3 可看出, 闪锌矿中 Fe 含量很低 (2.46%—4.82%), 其 FeS 分子含量为 4 mol%—8 mol%。这类闪锌矿通常是在低温、低硫逸度的环境中形成的, 与矽卡岩矿床中的高温富铁闪锌矿明显不同。

## 6 结语

(1) 黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿是乌奴格吐山矿床的主要金属矿物。它们呈细脉浸染状、浸染状广泛分布于蚀变岩石中。这三种矿物中又以黄铁矿为主, 其含量远远大于黄铜矿和辉钼矿。黄铁矿与黄铜矿、辉钼矿之比大约是(4—5): 1。这一比例比国内许多斑岩铜钼矿床大得多。乌奴格吐山矿床虽然是个大型铜钼矿床, 但矿石品位较低(Cu= 0.44%, Mo= 0.057%)<sup>①</sup>。金属矿物的上述特征与本矿床“大储量, 低品位”的特征完全一致。

(2) 三个世代黄铁矿的平均爆裂温度相应是 331 °C、232 °C、< 200 °C, 基本可以代表钼、铜、铅锌三个矿化阶段的主要成矿温度, 这与石英的均一温度近似<sup>②</sup>: 早期钾长石化阶段形成无石英脉的均一温度 > 380 °C, 钼矿化阶段石英的均一温度为 370—300 °C, 铜矿化阶段石英的均一温度为 290—200 °C, 铅锌矿化阶段石英的均一温度 < 200 °C。

(3) 本矿床的黄铁矿 Co、Ni 含量低, As 含量却很高, 与国内斑岩铜钼矿床黄铁矿的微量元素特征迥然不同, 而与沉积或层控成因的黄铁矿类似, 这在一定程度上反映了矿床的部分成矿物质来源与幔源物质无关。与国内大多数斑岩铜钼矿床的辉钼矿不同, 本矿床的辉钼矿 Re 含量很低, 这不但反映了岩体分异程度高, 而且表明 Mo 是来自上地壳重熔成因的黑云母花岗岩。

(4) 石英- 钾长石化带和石英- 绢云母- 水白云母化带中的金红石常与铜、钼矿物共生。金红石可作为本矿床铜钼矿化的重要指示矿物。

## 参 考 文 献

- 1 王之田, 秦克章. 乌奴格吐山下壳源斑岩铜钼矿床地质地球化学特征与成矿物质来源. 矿床地质, 1988, 7(4).
- 2 宋学信, 张景凯. 中国各种成因黄铁矿的微量元素特征. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊. 1986, 第 2 号.
- 3 芮宗瑶, 黄崇轲等. 中国斑岩铜(钼)矿床. 地质出版社, 1984.
- 4 朱 训, 黄崇轲等. 德兴斑岩铜矿, 地质出版社, 1983.
- 5 陈 正, 陈殿芬, 邹 星. 金属矿物颜色指数研究. 地质出版社, 1979.
- 6 王 澐, 潘兆鲁, 翁玲宝等. 系统矿物学(上册). 地质出版社, 1982.
- 7 Criddle A J & Stanley C J. The Quantitative Data File for Ore Minerals. British Museum (Natural History), 1986.
- 8 张德全, 李大新等. 紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带. 地质出版社, 1992.

① 南广鹏、黄英俊. 乌奴格吐山斑岩型铜钼矿床基本地质特征. 黑龙江冶金地质, 1983 年第 1 期。

② 李荫清未出版的资料, 1995。



9 姜胜章, 罗仕徽等. 湖南金属矿物. 中南工业大学出版社, 1992.

10 中国地质科学院地质矿产所. 透明矿物显微镜鉴定. 地质出版社, 1977.

## Characteristics of Metallic Minerals from the Wunugetushan Porphyry Copper-Molybdenum Deposit

Chen Dianfen Ai Yongde Li Yincing

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Key words:** metallic mineral; porphyry copper-molybdenum deposit; Wunugetu Mountain of Inner Mongolia

### Abstract

The Wunugetushan deposit is a large-sized porphyry copper-molybdenum deposit with pyrite as the most abundant metallic mineral. The average decrepitation temperatures of pyrite for three major ore-forming stages (molybdenum, copper, lead-zinc) are 331 °C, 228 °C and < 200 °C, which on the whole represent main ore-forming temperatures of three major mineralization stages. Pyrite is characterized by low Co ( $64.84 \times 10^{-6}$ ) and Ni ( $15.6 \times 10^{-6}$ ) but very high As ( $588.6 \times 10^{-6}$ ), diametrically different from pyrite in porphyry copper-molybdenum deposits of China whereas similar to pyrite of sedimentary or stratabound origin in features of trace elements. This suggests to certain extent that some ore-forming substances of the ore deposit had nothing to do with mantle materials. Molybdenite, the only important molybdenum mineral, is dominantly of 2H type and occurs mainly in the quartz-potash feldspathization zone. Different from most porphyry copper-molybdenum deposits in China, this ore deposit contains very low Re, implying not only high differentiation degree of the rock body but also the derivation of Mo from biotite granite of upper crust remelting origin. Copper minerals are mainly chalcopyrite and subordinately Zn-tennantite and bornite, which mainly occur in the quartz-sericite-hydromuscovite zone. The differences in trace elements of chalcopyrite of different generations reflect variation in ore-forming solutions. Galena and sphalerite mainly occur in the quartz-illite-hydromuscovite zone, with sphalerite deficient in iron ( $X_{\text{FeS}} = 4 \text{ mol\%} - 8 \text{ mol\%}$ ), and galena containing Ag (0.01% - 0.35%).