

来的金属主要以硫化物形式出现。可是在含矿卤水中又缺少还原态硫，要使含矿卤水中的金属沉淀，必然在含矿卤水中出现 $S^{2-}$ ，造成这种情况的原因可能有两种：

1.如果在卤水中含有一定数量的金属和一定数量的还原态硫，在一定的物化条件下二者处于平衡状态，只要卤水本身的物化条件发生变化，即可引起金属硫化物沉淀。

①pH值的变化。一般卤水pH值为5~6，酸性。当它在环境的影响下变为碱性时，有利于 $H_2S$ 分解， $S^{2-}$ 离子增多，促使金属形成硫化物沉淀。

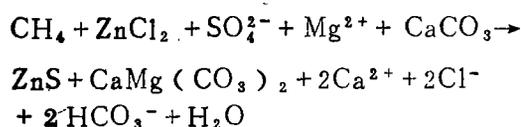
②冷却。卤水上升到浅部或地表水体下部时，由于温度降低使溶解度变小，引起金属硫化物沉淀。

③卤水被一般水体稀释，盐度变小，降低了溶解能力，引起金属硫化物沉淀。

2.由沉积环境提供给卤水还原态硫或促使卤水中的氧化态硫还原，引起金属沉淀。

卤水中的硫主要是以 $SO_4^{2-}$ 的形式存在，如果由环境加入卤水中 $CH_4$ 或石油，都可以引起 $SO_4^{2-}$ 还原成 $S^{2-}$ ，与金属结合形成硫化物

沉淀。甲烷使 $SO_4^{2-}$ 还原形成金属硫化物沉淀的反应式为：



$H_2S$ 直接加入卤水的情况可能是环境中硫酸盐被细菌还原，或有机质造成的非细菌还原；或来自环境中早期存在的硫化物中的 $S^{2-}$ 。这些都可以引起卤水中金属硫化物的

沉淀。

显然，如果含矿卤水没有足够的还原态硫使金属沉淀，就需要从沉积的环境中补给还原态硫，这就必然涉及到一些硫酸盐还原之类的活动。盆地环境中常见的还原剂是有机质或石油。因而，由卤水形成的矿床与岩盐地层或石油在空间上分布密切是有内在联系的。

## 卤水成矿的空间

各种类型成矿流体的共同特点是，常依赖于构造渠道或依赖较高的渗透能力由高压地段流向低压部位，并常在低压部位卸载，将金属沉淀形成矿体。

含矿卤水的运动机制和油气聚集的过程颇为相似，它在压力梯度、浓度梯度的驱动下发生流动和扩散，沿着适当的构造或地层层向上运移。如果在上升到地表的途中，或因卤水本身物化条件的变化，或因环境补给卤水还原态硫，使其中的金属以硫化物的形式沉淀下来，这样就形成了卤水热液矿床。它的成矿方式可以是充填的，也可以是交代的。密西西比河谷型矿床的成因，目前已基本被公认为是这种成因的典型。如果含矿卤水上升运移到海底，由于那里 $H_2S$ 多，或因与海水反应，或因物化条件的改变，促使其中金属沉淀，这便形成了卤水沉淀矿床。红海、索尔顿海等海底正在形成的多金属沉淀物，可作为这种成矿形式的代表。

这样看来，卤水成矿可以在地表以下，也可以在地表水底。在地表以下成矿受构造及岩性控制明显，在地表水底成矿受古地形及沉积环境的控制明显。

## 斑岩铜矿主要硫化物生成条件的实验研究

冶金部地质研究所 吴厚泽 曾骥良 杨家珠 樊玉勤

近十几年来，我国斑岩铜矿的找矿勘探工作成绩很大。通过成矿实验进一步研究斑岩铜矿成矿机理，对找矿勘探工作的深入开展是很有必要的。

硫化物的实验研究，在国外已经有几十

年的历史，取得了一定成绩。但是有相当多的实验脱离地质实际情况。根据我国斑岩铜矿的地质特征，我们首次在国内开展了斑岩铜矿主要硫化物生成条件的实验研究。通过87次实验，合成了黄铜矿、黄铁矿等十多种

矿物及二十多种矿物共生组合。根据实验结果作出了300°C时Fe—Cu—S体系在KCl+NaCl+SiO<sub>2</sub>水溶液中的矿物共生关系图。初步研究清楚了其生成条件。

### 实验条件的选择

实验条件是根据斑岩铜矿的地质特征，国内外斑岩铜矿包裹体资料及有关成矿实验资料决定的。

斑岩铜矿与中酸性浅成—超浅成斑岩体密切相关。矿体常分布于斑岩体顶部及其内外接触带，形成于石英—（黑云母）钾长石化及石英—绢云母化之后，主要产于石英—绢云母带之中。矿石以细脉浸染状为主。我们选择富家坞斑岩铜矿中最有代表性的黄铁矿+黄铜矿+石英（黄铜矿与黄铁矿之量比约为1:6~1:10）及多宝山斑岩铜矿中的斑铜矿+黄铜矿+黄铁矿+石英这样一些共生组合作为模拟的对象。

国内斑岩铜矿包裹体研究资料表明，斑岩铜矿成矿温度在160~360°C，压力大约200大气压。包裹体中的子晶多数为氯化钠。美国犹他州宾厄姆斑岩铜矿液态包裹体成分主要为H<sub>2</sub>O、NaCl、KCl及少量的CO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaSO<sub>4</sub>等，KCl/NaCl≈1/3~1/5，总盐度1.1~45.8%。

我们于1977年对富家坞斑岩铜矿围岩蚀变带中的石英—钾长石化生成条件进行了实验研究，其形成温度主要在400°C以上。而硫化物是在石英—钾长石化及石英—绢云母化之后形成，所以硫化物的形成温度应低于400°C。苏联B. II. 巴尔苏科夫等用NaCl、KCl热液交代花岗岩生成新的钾长石、白云母与溶液平衡时，溶液中K/(Na+K)的最小值为0.28。

石英在硫化物形成的全过程中都大量出现，说明成矿溶液中SiO<sub>2</sub>是饱和的。

根据上述情况，我们选择温度450~150°C，压力50~300大气压；介质溶液成份与浓度KCl/NaCl=3/7，总浓度1~19%，个别加入1N的KCl溶液；pH值为3~10；H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>过量作为实验条件。

实验前，对要合成的矿物进行了热力学计算，作出了Cu—Fe—O—S体系在300°C、一个大气压下矿物共生关系图（图1）。要合成的矿物是铜、铁随硫逸度升高所形成的矿

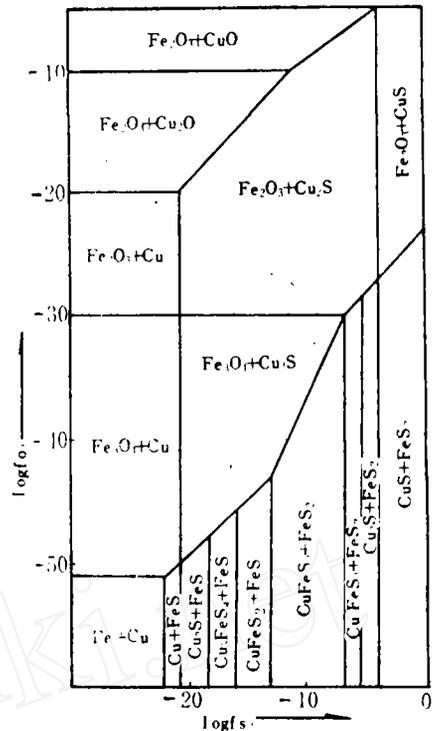


图1 Cu—Fe—O—S体系在300°C矿物共生关系图  
(1个大气压)

物共生组合。这个图对指导实验很有意义。

实验使用纯铜粉（99.9%），纯铁丝（φ<sub>0.1mm</sub>99.9%），纯硫粉（99.7%，杂质有Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>+Fe+MgO+CaO<0.3%），H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>（99.8%）作为原始试料。

用石英管代替黄金管和铂金管。将试料和介质溶液加入石英管内焊封好，放入高压釜内，并在高温电阻炉内恒温至所需要的时间。淬火后取样，将固液相定量分离，分别进行测试鉴定。

### 实验结果

通过87次实验合成了黄铁矿（Py）、磁黄铁矿（Po）、黄铜矿（Cp）、斑铜矿（Bn）、辉铜矿（Cc）、方黄铜矿（Cb）、铜蓝（Cv）、铁铜蓝（Id）、石英（Q）、α方石英（αCt）、铁橄榄石（Fa）、磁铁矿（Mt）等十多种矿物及二十多种矿物共生组合。

合成的矿物经过显微镜鉴定、X射线及电子探针分析，其光学特性、化学成分、晶体结构与天然矿物十分相似。只有铁铜蓝（Id）与天然产出的在化学成分上不完全相同。其分子式为Cu<sub>5</sub>FeS<sub>6</sub>，而天然产出的分

子式为 $Cu_3FeS_4$ 。

实验后的介质溶液都作了Cu、Fe、S含量测定。

矿物的特征见表1。实验条件与产物见表2。

把实验结果用两座标克原子比值法作出Cu—Fe—S体系在 $300^{\circ}C$ 在 $KCl+NaCl+SiO_2$ 水溶液中矿物共生关系部分相图(图2)。图中的虚线为理论计算图(图上的阿拉伯字,为实验的序号)。用这种方法作的图,比目前国际上惯用的三座标重量百分法及三座标克原子百分法作的图更为直观,使用方便。

### 影响矿物共生组合的因素

从实验结果来看,影响矿物组合的因素

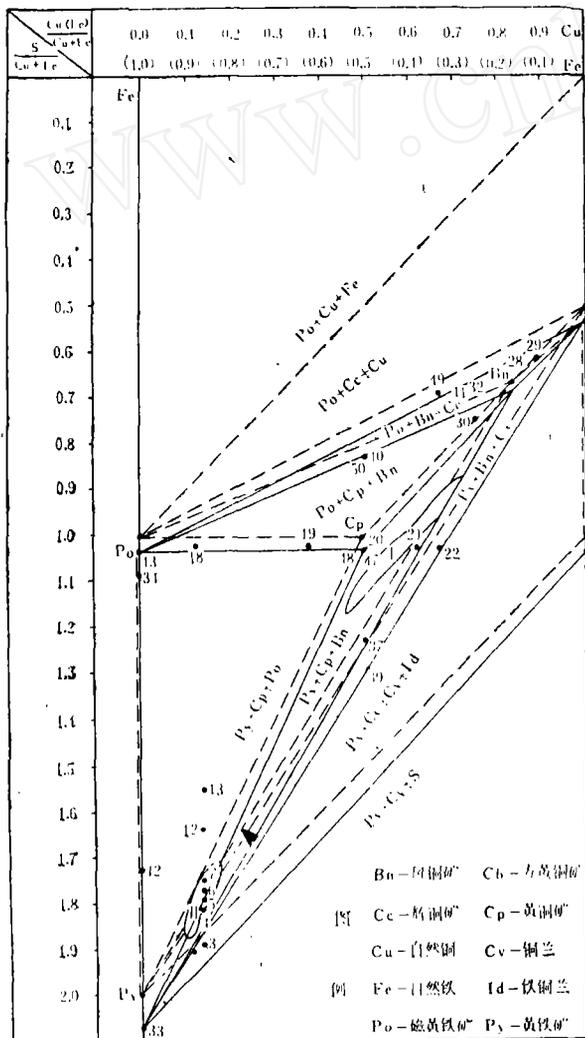


图2 Fe—Cu—S体系在 $KCl+NaCl+SiO_2+H_2O$ (实验后矿物共生)系部分相图

主要有硫量、铁铜比例及温度的变化。其次为实验介质成份与浓度、pH值、氧逸度等。现分别讨论如下:

1. 硫量不同,形成的矿物共生组合及其量比也不同。图2的纵向,从上向下,就是各种铁铜比例随硫量的增加所出现一系列矿物共生组合。例如 $Cu/(Cu+Fe)=0.5$ ,即铜铁克原子数相等时,随硫量增加所出现的矿物共生组合为: $Cc+Po \rightarrow Po+Bn+Cc \rightarrow Bn+Po \rightarrow Bn+Cp+Po \rightarrow Cp \rightarrow Cp+Bn+Py$ (照片1) $\rightarrow Bn+Py \rightarrow Bn+Cc+Py \rightarrow Cc+Py \rightarrow Cc+Id+Cv+Py$ (照片2) $\rightarrow Cv+Py$ 等。

2. 铜铁含量不同,形成的矿物共生组合及其量比也不同。图2由左向右,铜量增加就出现了一系列矿物共生组合。例如 $S/(Cu+Fe)=1.5$ 时,其形成的矿物共生组合为: $Po+Py$ (照片3) $\rightarrow Po+Py+Cp \rightarrow Cp+Py$ (照片4) $\rightarrow Cp+Bn+Py \rightarrow Bn+Py \rightarrow Bn+Cc+Py \rightarrow Cc+Py$ (照片5) $\rightarrow Cc+Id+Cv+Py \rightarrow Cv+Py$ 。

3. 温度对矿物共生组合有影响。在实验中其他条件不变,仅变化温度可形成不同的矿物共生组合。从 $150 \sim 450^{\circ}C$ 所作实验,以合成 $Py+Cp+Q$ 组合的各组分量比为例:

$400^{\circ}C$ 以上,形成 $Py+Cp+Cb+Po+Q+Fa$ ;  $350 \sim 250^{\circ}C$ 形成 $Py+Cp+Po+Q$ ;  $200^{\circ}C$ 形成 $Py+Cp+Bn+Q$ (照片6);  $150^{\circ}C$ 时,形成 $Py+Cp+Bn+Cv+Q$ 。

在实验中,压力变化范围为 $50 \sim 300$ 个大气压,对矿物共生组合影响不大。

4. 实验后介质溶液中Cu、Fe、S的浓度:对全部实验后的水溶液作了Cu、Fe、S、 $SiO_2$ 的含量分析,其结果为(克原子/升) $Cu = n \cdot 10^{-3} \sim n \cdot 10^{-4}$ ,  $Fe = n \cdot 10^{-2} \sim n \cdot 10^{-3}$ ,  $S = n \cdot 10^{-1} \sim n \cdot 10^{-2}$ 。这个数值代表了 $350 \sim 250^{\circ}C$ ,各个硫化物共生组合固液相平衡时的最大溶解度,也就是在沉淀成矿时,Cu、Fe、S在成矿溶液中的最低浓度。

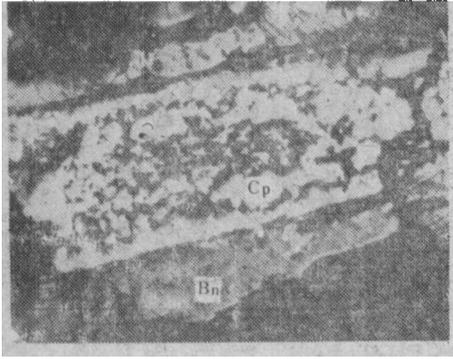
5. 介质溶液成份与浓度:实验中

表 1 主要合成分物特征表

矿物名称	镜下特征	电子探针分析			X射线粉晶分析(主要谱线)										
		Cu (%)	Fe (%)	S (%)	Cu:Fe:S (原子比)	d (Å)	I/II	d (Å)	I/II	d (Å)	I/II				
黄铜矿 (CuFeS <sub>2</sub> )	它形粒状为主, R <sub>80</sub> = 48.9%, 反射色铜黄色, 显弱的非均质性, 黄绿偏光色	34.29	30.05	34.74	1.0:1.0:2.0	4.07	8	3.03	10	1.86	5	1.59	1.078		
黄铁矿 (FeS <sub>2</sub> )	它形粒状, 自形立方晶为主, R <sub>80</sub> = 55.5%, 反射色黄白, 均质	0.63	46.79	52.82	1.0:84.5:166.1	2.70	10	2.40	9	2.02	8	1.92	1.63	1.041	
斑铜矿 (Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> )	它形一半自形粒状, R <sub>80</sub> = 20.3%, 反射色为玫瑰色(带蓝或橙色调), 均质, 偏光色为赤褐色	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未		
铜蓝 (CuS)	片状, 细鳞片状; R <sub>80</sub> = 10.0~14.9%; 双反射很强, 反射色天蓝-淡蓝白色; 强非均质性, 偏光色大红-暗蓝色	未	未	未	未	3.04	10	2.83	10	1.89	7	1.72	1.55	1.097	
铁铜蓝 (Cu <sub>3</sub> FeS <sub>6</sub> )	片状, 晶面上见三角晶纹; 双反射强, 反射玫瑰红-淡粉红色; 强非均质性, 偏光色为橙红-稻草黄色	56.17	10.51	34.10	47:10:5.7	3.13	10	2.80	10	1.89	7	1.83	1.61	1.56	1.32
辉铜矿 (Cu <sub>2</sub> S)	它形粒状, 反射色灰白, 有的带蓝色和浅玫瑰色调, 均质, 偏光色灰紫	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	
方黄铜矿 (CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> )	粒状, 它形一半自形, 反射色乳黄色, 反射率接近于磁黄铁矿, 显非均质性, 偏光色为带红色调的黄色	20.95	45.57	34.96	1.0:2.5:3.3	2.63	8	2.06	7	1.72	4	1.32	1.10	0.8	
磁黄铁矿 (Fe <sub>1-x</sub> S)	它形粒状和板状, 乳黄色(带玫瑰色调)反射色, R <sub>80</sub> = 34.1%; 非均质性, 偏光色稻草黄色-灰蓝色、棕红色	0.80	61.11	36.75	1.0:86.9:91.0	未	未	未	未	未	未	未	未	未	
磁铁矿 (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	它形, 半自形-自形晶; 反射色蓝灰和紫灰, 均质性	未	72.76	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	未	

实验条件与结果 (部份) 表 2

顺序号	实验编号	原 始 成 份 (mg)						Cu	Fe	毫克原子数	S	毫克原子数	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Cu/Cu+Fe	S/Cu+Fe	温度 (°C)	压力 (atm)	恒温时间 (小时)	pH 值		反应产物 (由多至少排列)
		毫克原子数	毫克原子数	毫克原子数	毫克原子数	前	后														
1	16-2	159.4	2.51	139.5	2.498	321.00	10.01	65.00	0.50	2.0	KCl/NaCl = 3/7 总浓度19%	400	300	88	5.2	1.7	Py+Cv+Id+S+(Mt)+Q				
3	16-8	78.90	1.242	428.9	7.68	541.6	16.89	100.0	0.139	1.89	Py+Cv+Id+(Mt)+Q	300	183	214	10.0	1.7	Py+Cv+Id+(Mt)+Q				
4	19-8	78.90	1.242	428.9	7.68	517.0	16.123	100.0	0.139	1.81	Py+Cc+Id+Bn+(Mt)+Q	300	183	214	5.3	5.3	Py+Cc+Id+Bn+(Mt)+Q				
5	18-11	78.90	1.242	428.9	7.68	512.4	15.98	100.0	0.139	1.79	Py+Cp+Bn+Cv+(Mt)+Q	300	183	257	5.3	6.4	Py+Cp+Bn+Cv+(Mt)+Q				
6	15-10	78.90	1.242	428.9	7.68	506.4	15.79	100.0	0.139	1.77	Py+Cp+Bn+Q	300	183	205	3.0	3.9	Py+Cp+Bn+Q				
7	17-10	78.90	1.242	428.9	7.68	499.4	15.58	100.0	0.139	1.75	Py+Cp+Q	300	183	205	3.0	5.0	Py+Cp+Q				
12	17-8	78.7	1.24	428.9	7.68	467.8	14.59	100.0	0.139	1.64	Py+Cp+Po+Bn+(Mt)+Q	300	183	214	10.0	6.0	Py+Cp+Po+Bn+(Mt)+Q				
13	18-8	78.7	1.24	428.9	7.68	443.2	13.82	100.0	0.139	1.55	Py+Po+Cp+Bn+(Mt)+Q	300	183	214	10.0	5.6	Py+Po+Cp+Bn+(Mt)+Q				
21	19-12	317.7	5.00	167.5	3.00	263.5	8.22	100.0	0.625	1.03	Bn+Cp+Py+Cc+Q	300	183	258	5.2	6.3	Bn+Cp+Py+Cc+Q				
22	18-12	317.7	5.00	138.9	2.49	247.5	7.72	100.0	0.668	1.03	Cc+Bn+Cp+Py+Id+Cv+Q	300	183	258	5.2	5.0	Cc+Bn+Cp+Py+Id+Cv+Q				
23	9-8	23.6	0.372	128.7	2.304	147.7	4.61	30.0	0.139	1.72	Py+Cp+Po+Bn+Q	200	50	757	9.5	5.0	Py+Cp+Po+Bn+Q				
26	15-13	11.3	0.178	61.2	1.096	71.15	2.23	100.0	0.140	1.74	Py+Cp+Cb+Po+(Mt)+Q+F <sub>a</sub>	450	300	133	5.2		Py+Cp+Cb+Po+(Mt)+Q+F <sub>a</sub>				
27	8-12	23.6	0.372	128.7	2.304	149.8	4.672	30.0	0.139	1.75	Py+Cp+Bn+Cc+Cv+Q	150	50	840	5.2	9.3	Py+Cp+Bn+Cc+Cv+Q				
29	21-2	222.39	3.50	27.94	0.50	80.16	2.499	100.0	0.875	0.625	Bn+Cc+(Mt)+Q	300	61	159	5.3	3.0	Bn+Cc+(Mt)+Q				
30	23-7	190.62	3.00	55.85	1.00	96.20	3.00	100.0	0.75	0.75	Bn+Cp+Cc(极少)+(Mt)+Q	300	61	159	5.3		Bn+Cp+Cc(极少)+(Mt)+Q				
41	31-15	127.1	2.00	55.85	1.00	70.13	2.19	100.0	0.667	0.73	Bn+Cc+Po+(Mt)+Q	300	61	165	5.3	4.5	Bn+Cc+Po+(Mt)+Q				
42	20-16	—	—	167.4	2.997	165.29	5.155	100.0	—	1.72	总浓度3.1%	300	61	183	5.3	5.3	Py+Po+(Mt)+Q				
43	21-13	—	—	223.56	4.003	133.26	4.158	100.0	—	1.04	Py+Po+(Mt)+Q	300	61	171	5.3	5.3	Py+Po+(Mt)+Q				
44	22-16	381.25	6.00	—	—	102.85	3.21	100.0	1.00	0.535	Cc+(Mt)+Cv(极少)+Q	300	61	183	5.3	—	Cc+(Mt)+Cv(极少)+Q				
45	23-16	254.16	4.00	—	—	133.26	4.16	100.0	1.00	1.04	Cv+Cc(极少)+(Mt)+Q	300	61	183	5.3	2.0	Cv+Cc(极少)+(Mt)+Q				
48	29-16	158.86	2.50	139.6	2.50	166.33	5.19	100.0	0.50	1.04	Cp+Po+Bn+Q	300	61	183	5.3	4.0	Cp+Po+Bn+Q				
49	30-16	254.38	4.00	111.92	2.00	132.13	4.139	100.0	0.667	0.693	Cc+Po+Cp+(Mt)+Q	300	61	183	5.3	4.5	Cc+Po+Cp+(Mt)+Q				
50	31-16	158.85	2.50	139.60	2.50	133.25	4.16	100.0	0.50	0.83	Bn+Po+Cp+(Mt)+Q	300	61	183	5.3	4.5	Bn+Po+Cp+(Mt)+Q				



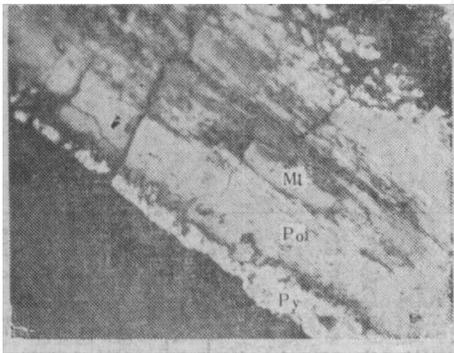
照片1 实验号19—12

亮者为黄铜矿 (Cp)，略暗者为斑铜矿 (Bn)，×122



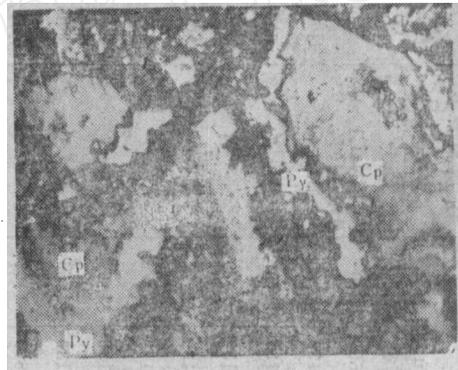
照片2 实验号16—2

左方小白点为黄铁矿 (Py)，中间大晶体为铁铜蓝 (Id)，下方小条状者为铜蓝 (Cv)，×122



照片3 实验号17—7

两侧亮者为黄铁矿 (Py)，中间灰者为磁黄铁矿 (Po)，中央小椭圆形较暗者为磁铁矿 (Mt) ×122



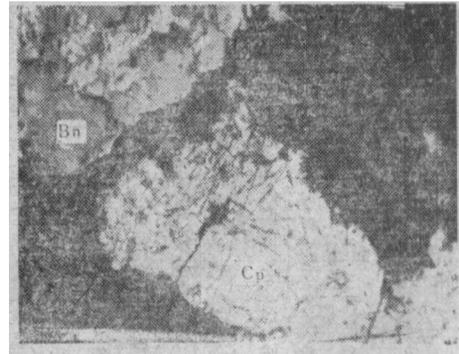
照片4 实验号17—10

略暗者为黄铜矿 (Cp)，亮者为黄铁矿 (Py)，×40



照片5 实验号19—8

右上方较暗者为辉铜矿 (Cc)，左下方亮者为黄铁矿 (Py)，×122



照片6 实验号9—8

左上方暗者为斑铜矿 (Bn)，右下方亮者为黄铜矿 (Cp)，×122

用  $KCl/NaCl = 3/7$ , 总浓度  $1 \sim 19\%$ , 个别加入  $1N$  的  $KCl$  溶液, 在所选定的实验条件下, 都能形成  $Py + Cp + Q$  及  $Bn + Cp + Py + Q$  等组合。浓度低对石英生长有利。

6. pH值问题: 实验中所选择的pH值范围为 $3 \sim 10$ 。反应前溶液的pH值各种各样, 反应后溶液的pH值明显地趋向 $4 \sim 6$ 。例如反应前为 $10$ , 反应后则降到 $5$ 左右。反应前为 $8$ , 反应后上升到 $4 \sim 5$ ; 反应前为 $5$ 左右, 反应后基本不变。如果硫过量, 溶液变酸性, pH值在 $2 \sim 1$ 之间。从这些结果看, 硫化物形成后, 溶液的pH值约为 $4 \sim 6$ , 为弱酸性。

7. 实验中的氧逸度: 我们使用的石英管没有抽真空, 一般有 $5 \sim 8$ 毫升空气, 有少量的自由氧参加反应, 所以每个实验都有极少量的磁铁矿出现。根据热力学计算, 磁铁矿与黄铁矿+黄铜矿共生时, 在 $300^\circ C$ , 其氧逸度为 $\log f_{O_2} = -42$ 。

另外, 实验中所加入的 $H_2SiO_3$ 也都能长出石英。石英的生长与温度高低、生长时间的长短有很大关系。温度高,  $400^\circ C$ 以上, 三天左右,  $H_2SiO_3$ 全部变成了石英, 而温度在 $250^\circ C$ , 也是三天时间, 则很少生成石英,  $H_2SiO_3$ 尚未起变化。但是温度虽然低, 如果时间长, 石英长得也很好。例如实验 $9-8$ , 在 $200^\circ C$ 及实验 $8-12$ , 在 $150^\circ C$ 恒温三十多天,  $H_2SiO_3$ 几乎全部变成了石英。

## 实验的地质意义

这些实验结果和影响硫化物共生组合及其量比的因素都可以应用到斑岩铜矿成矿过程中去, 解释斑岩铜矿的形成条件。现在简单谈谈这个实验的地质意义:

1. 斑岩铜矿中矿物共生组合及其量比的不同是由于成矿溶液中Cu、Fe、S含量不同所决定的。在前面的讨论中, 已经清楚地看到Cu、Fe、S量不同, 形成的矿物共生组合也就不同。合成富家坞斑岩铜矿中最有代表性的黄铁矿+黄铜矿+石英组合时, 加入的Cu、Fe、S的比例为 $Cu:Fe:S = 1:7:14 \sim 1:11:22$ , 而合成多宝山斑岩铜矿中最有代表性的斑铜矿+黄铜矿+黄铁矿+石英及斑铜矿+黄铁矿+石英组合时, 加入的Cu、Fe、S量比例为 $Cu:Fe:S = 5:1:4$

$\sim 3:1:4$ 。由此推断富家坞斑岩铜矿形成于一种Fe、S相对高的矿液中, 而多宝山斑岩铜矿则形成于一种含Cu相对高而Fe、S相对低的矿液中。也就是说, 当矿液中Cu、Fe、S的浓度(克原子/升)分别大于 $n \cdot 10^{-3} \sim n \cdot 10^{-4}$ ,  $n \cdot 10^{-2} \sim n \cdot 10^{-3}$ ,  $n \cdot 10^{-1} \sim n \cdot 10^{-2}$ 时, 矿液就会按照图2中的规律形成各种矿物共生组合。同理, 一个矿床中各矿体间矿物共生组合不同, 一个矿体的不同部位, 矿物共生组合上的变化, 不同成矿阶段, 矿物共生组合上的差异, 也都是成矿溶液中所含的Cu、Fe、S量不同所决定的。进一步推断, 斑岩铜矿成因类型上的不同, 如多宝山斑岩铜矿以斑铜矿为主, 而富家坞斑岩铜矿以黄铁矿、黄铜矿为主, 这些类型上的差别, 也是成矿溶液中Cu、Fe、S量不同所决定的。把多宝山斑岩铜矿的矿物共生组合及其量比投影于图2中, 则落在I区, 而富家坞斑岩铜矿则落在II区。概括地说, 斑岩铜矿中成因类型的不同, 各成矿阶段上的差异, 各矿体之间及同一矿体不同部位上矿物共生组合的差异, 都是成矿溶液中Cu、Fe、S量不同所决定的。

2. 我们的实验是以斑岩铜矿为对象的, 但从结果来看, 这些规律也适合于铜铁硫化物热液矿床。因为铜铁硫化物热液矿床所形成的矿物共生组合以及成矿温度都和斑岩铜矿相似。

3. 温度对矿物共生组合的影响证明了广大地质工作者根据不同矿物共生组合关系来划分成矿温度的方法是正确的。在铜铁硫化物热液矿床中, 一般出现有少量磁黄铁矿、方黄铜矿、磁铁矿等, 其成矿温度是比较高的。而出现黄铁矿脉和少量的斑铜矿、铜蓝等, 其成矿温度是比较低的。

4. 斑岩铜矿成矿溶液中的pH值, 虽未直接测定, 但是在形成一系列与富家坞、多宝山斑岩铜矿相似的矿物共生组合之后, 介质溶液中pH值为 $4 \sim 6$ , 这个数值近似于斑岩铜矿成矿溶液中的pH值, 为一种弱酸性的介质溶液。

5. 斑岩铜矿成矿时的氧逸度问题: 从实验结果和热力学计算来看, 磁铁矿与硫化物共生组合出现, 特别与黄铁矿+黄铜矿共生组合出现时, 其氧逸度 $\log f_{O_2} = -42$ 。而多宝山、富家坞斑岩铜矿中很少见到磁铁矿,

说明成矿时氧逸度很低。但在沙溪、舒家店、玉龙等斑岩铜矿中因磁铁矿与黄铜矿、黄铁矿共生，而且磁铁矿量比较多，说明它们成矿时，氧逸度高一些，接近  $\log f_{O_2} = -42$ 。

6. 斑岩铜矿成矿溶液中的介质成分，到目前为止还不清楚。从国内外斑岩铜矿普遍发育有强烈的蚀变带，包括石英—（黑云母）钾长石化带、石英—绢云母化带及青盘岩化带。要形成前两个蚀变，矿液中要有大量的钾。在我们以往的实验中，钾长石化就是溶液中的  $K^+$  进入围岩中，而围岩中的  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  进入溶液中。这种情况与斑岩铜矿中液态包裹体成份资料相似。所以可以认为斑岩铜矿成矿溶液是以  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  等为主的氯化物水溶液。

另外，石英的生长与温度、时间相关，高温生长快，低温生长慢，但时间长了也一样可以变成石英。这就可以知道自然界中很多低温石英脉的形成是经过了漫长的地质时代的。

综上所述，我们认为象富家坞、多宝山一类斑岩铜矿是由一种含  $Cu$ 、 $Fe$ 、 $S$  量不同的  $SiO_2$  饱和的以氯化物为主的弱酸性水溶液，在  $350 \sim 250^\circ C$  的还原环境中形成。

整个实验过程中，得到我所斑岩铜矿组同志们的大力协助。溶液分析由胡有云、云秀英等同志完成；矿物成份及X射线分析由王凤阁、郭永芬等同志完成；照片由胥国泰、简可清同志完成；光薄片由陈燕华等同志磨制；陈昌宜同志参加了实验的补充工作，给我们帮助很大，特向各位同志表示感谢。



## 大宝山斑岩钼（钨）矿床 围岩蚀变特征

广东省冶金地质九三七队 庄明正\*

大宝山是一个大型多金属矿区，位于粤北山字型前弧东翼内侧，北江新华夏断裂带的东侧，大东—贵东—九连山东西构造带与北江新华夏系构造带复合处。

区内出露地层主要为泥盆纪及石炭纪的一套滨海—浅海相砂页岩—碳酸盐建造，次为寒武纪浅变质砂板岩建造。局部尚有早侏罗世陆盆成煤建造。

区内断裂发育。火成活动主要有燕山IV期次英安斑岩和V期花岗闪长（斑）岩。船肚—大宝山花岗闪长（斑）岩体，受东西构造控制，东西长3200米，南北宽300~600米，最宽处达800米，呈岩株状产出。岩体受几组断裂破坏错移600米，成为船肚岩体与大宝山岩体的分界线。船肚岩体被剥蚀，标高300~400米，露出中心相，具全晶质似斑状结构，大宝山岩体剥蚀甚浅，出露标高约1000米，呈浅成相，具斑状结构。两者实为一个岩体，同属燕山V期。

区内矿化广泛而强烈。铜多金属矿床主要产于大宝山褐铁矿铁帽下面和次英安斑岩岩墙上盘的中泥盆统东岗岭组碳酸盐岩层中，属沉积热液叠加的“复生矿床”。钼钨矿床主要产于船肚—大宝山花岗闪长（斑）岩岩体接触带。围岩性质不同，形成矿床类型不同。船肚花岗闪长岩北与寒武系砂板岩接触，形成斑岩型钼（钨）矿带，南与天子岭灰岩接触形成夕卡岩型钼钨矿带，内接触带构成斑岩型钼（钨）矿体。大宝山花岗闪长斑岩北与次英安斑岩、南与下侏罗统兰塘群砂页岩接触，形成斑岩型钼（钨）矿床（图1、2）。蚀变与钼（钨）矿化受接触带控制，向内外两侧渐次减弱，具有明显的分带性。斑岩钼（钨）矿体位于花岗闪长斑岩内外接触带上，构成东、北、南三个工业矿

\* 参加野外工作还有余绍谋、杨学军等同志，队实验室黄义和同志负责蚀变岩的室内鉴定。