

我国几个主要斑岩铜(钼)矿床的包裹体演化机制及成矿pH条件

李 荫 清

(中国地质科学院矿床地质研究所)

对我国40个斑岩铜(钼)矿床的研究表明^[1-4]：铜(钼)矿化在时间上和空间上与中酸性斑岩关系密切，矿化主要产于斑岩体顶部和邻近围岩中；矿石呈细脉浸染状构造；在含矿斑岩和邻近围岩中发育有一套特征的蚀变岩——钾硅酸盐岩(黑云母化和钾长石化)、绢英岩(石英-绢云母化)、泥英岩(中度粘土化和深度粘土化)和青磐岩(绿帘石-绿泥石-碳酸盐化)；蚀变和矿化都呈现很好的带状分布。

本文在对玉龙、德兴和多宝山三个大矿带较详细的包裹体研究的基础上，根据包裹体类型、均一温度、盐度、成分以及成矿流体的沸腾等，来讨论该类型矿床形成的pH条件和包裹体演化机制。

一、包裹体特征

(一) 类型

斑岩铜(钼)矿床中包裹体十分丰富，类型繁多。根据包裹体的相状态和气相百分数可分为五大类，再根据其主要成分和均一方式又分为11亚类(表1)。其最大特征是气体包裹体、气液包裹体和多相包裹体三者共存，尤以气体包裹体和多相包裹体共存更为常见；矿化富集部位多相包裹体极其发育^[1,5,6,7]。在矿床垂直剖面上，这些包裹体呈现下述几种组合：

顶部组合：以Ⅳ-9型和Ⅱ-3型为主，少量为Ⅲ-6型和Ⅳ-10型。这些包裹体发育于斑岩顶部和顶部围岩的矿化和蚀变部位。斑岩中尚有少量Ⅰ-1型玻璃包裹体。如莽总朱砂红等矿床。

上部组合：以Ⅱ-3型、Ⅳ-9型、Ⅲ-4型和Ⅲ-7型为主，Ⅳ-10型、Ⅲ-6型和Ⅲ-8型次之，少数Ⅲ-5型和Ⅴ-11型。斑岩中尚有少量Ⅰ-1型和Ⅰ-2型熔融包裹体。这些包裹体发育于斑岩上部矿化和蚀变部位。如玉龙、马拉松多和多霞松多矿床。

中部组合：以Ⅳ-9型、Ⅳ-10型、Ⅲ-6型、Ⅲ-7型和Ⅲ-8型为主，Ⅱ-3型大大减少，Ⅲ-4型、Ⅲ-5型和Ⅴ-11型很少见。它们发育于斑岩中部矿化和蚀变部位。如铜厂和富家坞矿床。

下部组合：以Ⅳ-10型、Ⅳ-9型和Ⅲ-6型为主，出现于复式岩体内部。如多宝山矿床。

(二) 均一温度

根据玉龙矿带熔融包裹体均一温度^①测定得知：含矿二长花岗斑岩为900—1000℃；非

① 熔融包裹体温度因恒温时间较短稍偏高。

表 1 我国主要斑岩铜(钼)矿床包裹体类型

类	型	相 组 成	相比或气相百分数	子 矿 物	均一时状态
熔融包裹体	I-1 玻璃包裹体	G + V (+ D)	V : G (+ D) $\approx 1:5-1:3$	Bio, Mt, Ap, He, Ha, Sy, Z等	玻璃质熔化, 气泡缩小消失
	I-2 晶质熔融包裹体	V + C + G	V : C (+ G) $\approx 1:4(+1)$		结晶质熔化, 气泡缩小消失
气体包裹体	II-3	V + L	V : (V + L) > 50%		气相扩大消失, 均一为气态
多相包裹体	III-4 含 Ha 子晶多相包裹体	V + L + D	V : 包裹体总体积 > 30%, $V > D_{Ha}$	Ha, He(少)	Ha早于V消失, 均一为液相
	III-5 含 Ha 子晶多相包裹体	同 上	$V \approx D_{Ha}$	同 上	Ha, V 同时消失, 均一为液相
	III-6 含 Ha 子晶多相包裹体	同 上	$V < D_{Ha}$	同 上	Ha晚于V消失, 均一为液相
	III-7 含 Sy 子晶多相包裹体	同 上	$D_{Sy} < D_{Ha}$	Sy, Ha, He	Sy早于Ha, V 消失, 均一为液相
	III-8 含 An 子晶多相包裹体	同 上		An, Ha, Sy, He, Py	均一为液相
气液包裹体	IV-9 气液包裹体	V + L	V : 包裹体总体积为 30—50%		均一为液相
	IV-10 液体包裹体	V + L	V : 包裹体总体积 < 30%		同 上
含液态CO ₂ 包裹体	V-11	V + L _{H₂O} + L _{CO₂}			同 上

注: V—气相, L—液相, G—玻璃质, C—结晶质, D—子矿物, Mt—磁铁矿, Bio—含钛黑云母, He—赤铁矿, Ha—石盐, Sy—钾盐, Z—锆石, Py—黄铁矿, Ap—磷灰石, An—硬石膏

含矿二长花岗斑岩为900—1150℃; 同源流纹岩(和多斑流纹岩)为1000—1200℃。由此推测, 岩浆的液相线温度可能为1100℃左右。

上述三矿带流体包裹体均一温度的主要变化范围为100—680℃, 个别气体包裹体可达900℃以上。由于大多数斑岩铜(钼)矿床具有较丰富的气体包裹体、气液包裹体和多相包裹体, 因而自然地形成了三组均一温度范围。如玉龙矿带的三组均一温度分别为330—650℃(气体包裹体)、180—600℃(多相包裹体)、180—460℃(气液包裹体)。这三组温度分别反映了钾硅化、绢英岩化和泥英岩化的形成温度。由流体包裹体均一温度的上限推测, 岩浆的固相线温度可能为700℃左右。

流体包裹体均一温度的变化范围随斑岩矿床产出的深度而有变化。通常, 超浅成斑岩矿

床的温度变化范围最宽,如马拉松多矿床产于火山管道中,温度为180—980℃;浅成斑岩矿床次之,如玉龙矿床,温度为180—650℃;中深成斑岩矿床温度变化相对较窄,如多宝山矿床产于复式花岗闪长岩岩株中,温度为110—550℃^①

(三) 含盐度和成分

三个矿带不同类型包裹体的含盐度(wt. % NaCl)测定结果:气液包裹体和液体包裹体为3—24,以5—16最常见;含NaCl子晶多相包裹体为30—64,主要为35—50;含NaCl和KCl子晶多相包裹体为35—60,主要为40左右,其中KCl为12—25,NaCl为30—52。

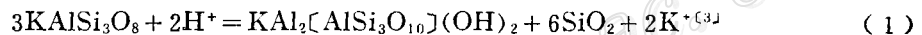
玉龙、马拉松多和德兴等矿床流体包裹体液相成分:①主要阳离子 K^+/Na^+ 比为0.4—2, Ca^{+2}/Na^+ 比为0.13—0.36, Ca^{+2}/K^+ 比为0.2—0.46, Mg^{+2}/Na^+ 比为0.01—0.029; Mg^{+2}/K^+ 比为0.016—0.043;②主要阴离子 Cl^-/SO_4^{2-} 比为11—66; Cl^-/F^- 比为21.2—57.2(玉龙为65—296);含一定量的 Cu^+ 、 Pb^{+2} 、 Zn^{+2} 和 M^{+2} 等贱金属。

成矿流体属NaCl-KCl-CaSO₄-H₂O体系或NaCl-H₂O体系,为富卤素和碱质并含一定量贱金属的溶液。

二、成矿流体的pH值

如前所述,绢英岩化和钾硅化为斑岩铜(钼)矿最重要的特征性蚀变,绢英岩带和钾硅化岩带也是铜(钼)矿化的富集地段,因此,研究绢英岩和钾硅化岩的形成条件和稳定条件具有十分重要的意义。为此,我们将讨论钾长石、绢云母和石英三者的稳定共生关系,以及决定这种稳定共生关系的因素—— $\alpha_{K^+}/\alpha_{H^+}$ 比值和温度,尤其是 α_{H^+} ,或者说pH值。

由平衡反应式



钾长石(Kf) 绢云母(Ser) 石英(Q)

和测定的流体包裹体的温度与KCl浓度可计算出 α_{H^+} ,即pH值。

(1)式的平衡常数

$$K = \frac{\alpha_{Ser} \cdot \alpha_Q^6 \cdot \alpha_{K^+}^2}{\alpha_{Kf}^3 \cdot \alpha_{H^+}^2} \quad (2)$$

$$\log K = 2\log \alpha_{K^+} - 2\log \alpha_{H^+} + \log \frac{\alpha_{Ser} \cdot \alpha_Q^6}{\alpha_{Kf}^3} \quad (3)$$

$$\log \alpha_{H^+} = -\frac{1}{2} \log K + \log \alpha_{K^+} + \frac{1}{2} \log \frac{\alpha_{Ser} \cdot \alpha_Q^6}{\alpha_{Kf}^3} \quad (4)$$

$$pH^{②} = \frac{1}{2} \log K - \log \alpha_{K^+} - \frac{1}{2} \log \frac{\alpha_{Ser} \cdot \alpha_Q^6}{\alpha_{Kf}^3} \quad (5)$$

这里,可以忽略压力对平衡的效应,则平衡常数可由下式求得:

$$\log K = -\frac{\Delta G^0}{2.303RT} - \frac{\Delta H^0 - T\Delta S^0}{2.303RT} \quad (6)$$

① 据敖立志、马德有资料。

② $pH = -\log \alpha_{H^+}$

根据D. A. Crerar和H. L. Barnes (1976)^[8]、J. W. Shade (1974)^[9]给出的 T 、 K 数据:

$$T/^{\circ}\text{C} \quad 250 \quad 300 \quad 350$$

$$K \quad 9.0 \quad 8.4 \quad 7.8$$

用最小二乘法找到 $\log K$ 与温度 T 的线性方程

$$\log K = 12 - 0.012T \quad (7)$$

$\log \alpha_{\text{K}^+}$ 可由KCl的电离平衡式求得:



其离解平衡常数

$$K' = \frac{m_{\text{K}^+} \cdot m_{\text{Cl}^-}}{m'_{\text{KCl}}} \quad (9)$$

因为 $m_{\text{K}^+} \approx m_{\text{Cl}^-}$

所以

$$K' = \frac{m_{\text{K}^+}^2}{m'_{\text{KCl}}} \quad (10)$$

设 m_{KCl} 为流体包裹体中KCl浓度(测得), m'_{KCl} 为(8)式中未离解的那部分KCl的浓度, 由此可得

$$m'_{\text{KCl}} = m_{\text{KCl}} - m_{\text{K}^+} \quad (11)$$

将(11)式代入(10)式

$$K' = \frac{m_{\text{K}^+}^2}{m_{\text{KCl}} - m_{\text{K}^+}} \quad (12)$$

整理(12)式

$$\frac{1}{K'} m_{\text{K}^+}^2 + m_{\text{K}^+} - m_{\text{KCl}} = 0 \quad (13)$$

解方程(13), 得

$$m_{\text{K}^+} = \frac{K'}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot m_{\text{KCl}}}{K'}} \right) \quad (14)$$

根据J. W. Montoya和J. J. Hemley (1975)^[10]计算的KCl电离平衡常数:

$$T(^{\circ}\text{C}) \quad 300 \quad 400 \quad 500 \quad 600$$

$$K' \quad 0.1 \quad -1.0 \quad -2.3 \quad -3.5$$

再用最小二乘法得线性方程

$$\log K' = 3.7 - 0.012T \quad (15)$$

又

$$\alpha_{\text{K}^+} = \gamma_{\text{K}^+} \cdot m_{\text{K}^+}$$

式中 γ_{K^+} 为 K^+ 的活度系数, 根据H. C. Helgeson^[11] (1969)的数据外推求得。

(5)式中石英的活度 α_{Q} , 当石英作为纯相时为1。

绢云母的活度 α_{Ser} 由下式求得:

$$\alpha_{\text{Ser}} = \gamma_{\text{Ser}} \cdot X_{\text{Ser}} \quad (16)$$

式中 γ_{Ser} 为绢云母的活度系数, 近似于1; X_{Ser} 为绢云母的摩尔分数, 由下式求得:

$$X_{\text{Ser}} = \frac{(\text{OH})^-}{(\text{OH})^- + \text{Cl}^- + \text{F}^- + \dots} \quad (17)$$

根据几个地区斑岩铜(钼)矿床的实际分析结果,绢云母中的 Cl^- 和 F^- 的含量大大低于 $(\text{OH})^-$,因此,绢云母的活度近似地取为1。

钾长石的活度 α_{Kf} 由下式求得:

$$\alpha_{\text{Kf}} = \gamma_{\text{Kf}} \cdot X_{\text{Kf}} \quad (18)$$

式中 γ_{Kf} 为钾长石的活度系数,近似于1; X_{Kf} 为钾长石的摩尔分数,根据玉龙、马拉松多和德兴等矿床的钾长石的单矿物分析资料,可用下式求得:

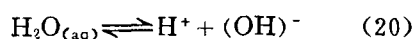
$$X_{\text{Kf}} = \frac{2\text{K}^+}{2\text{K}^+ + 2\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \dots} = \frac{2(W_{\text{K}_2\text{O}}/M_{\text{K}_2\text{O}})}{2(W_{\text{K}_2\text{O}}/M_{\text{K}_2\text{O}}) + 2(W_{\text{Na}_2\text{O}}/M_{\text{Na}_2\text{O}}) + W_{\text{CaO}}/M_{\text{CaO}} + \dots} \quad (19)$$

根据玉龙、马拉松多和德兴等矿床钾长石的分析结果计算的 α_{Kf} 变化于0.662—0.948(从略)。

到此,我们就可以按(5)式计算出玉龙等斑岩铜(钼)矿床的绢英岩和钾硅化岩形成的 α_{K^+} 和pH值。计算结果见表2。

由表2可知,形成玉龙、马拉松多和德兴等斑岩铜(钼)矿的绢英岩和钾硅化岩的热流体中 K^+ 的活度为0.1—2.5 mol,平均为0.67—0.88 mol, pH值为4.0—4.7。

现在,需要进一步知道不同温度条件下水的中性线。这可由水的电离平衡式



求得水的电离平衡常数 $K_{\text{H}_2\text{O}}$

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\alpha_{\text{H}^+} \cdot \alpha_{(\text{OH})^-}}{\alpha_{\text{H}_2\text{O}(\text{ap})}} = \frac{\alpha_{\text{H}^+}^2}{\alpha_{\text{H}_2\text{O}(\text{ap})}} \quad (21)$$

式中 $\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$ (水的溶液相)可以作为纯相看待,则

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = a_{\text{H}^+}^2 \quad (22)$$

$$\log K_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \log a_{\text{H}^+} \quad (23)$$

$$\text{pH} = -\frac{1}{2} \log K_{\text{H}_2\text{O}} \quad (24)$$

Olofsson和Hopler (1975)^[8]给出了下列数据:

$T^\circ\text{C}$	100	150	200	250	300	350
$\log K_{\text{H}_2\text{O}}$	-12.27	-11.64	-11.30	-11.20	-11.30	11.67

将上列数据代入(24)式,便得出水的中性线数值:

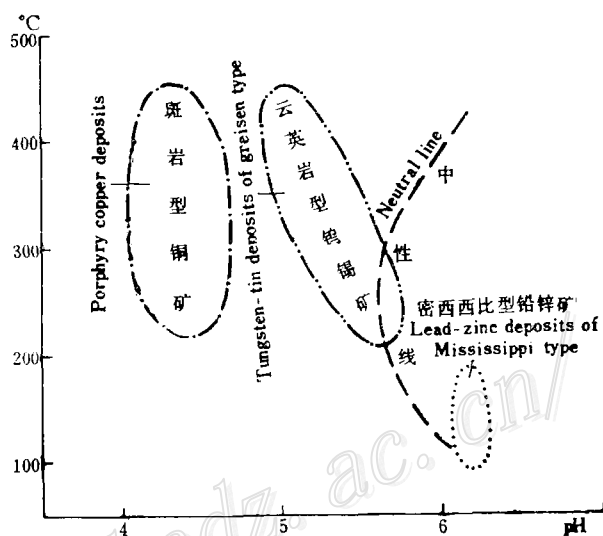


图1 斑岩铜(钼)矿与云英岩型钨锡矿、密西西比型铅锌矿pH值之比较

Fig. 1. Comparison of porphyry copper (molybdenum) deposits with lead-zinc deposits of Mississippi Valley type and tungsten-tin deposits of greisen type in pH values.

表 2 玉龙、马拉松多、德兴等斑岩铜(钼)矿床的绢英岩和钾硅化岩形成的 α_{K^+} 和pH条件

矿 区	样 品	$T_{H^+}^{\circ}C$	$W_{KCl}(\%)$	$W_{H_2O}(\%)$	$M_{KCl}(mol)$	K'	$M_{K^+}(mol)$	γ_{K^+}	$\log \alpha_{K^+}$	$\log K$	α_{K^+}	pH
玉 龙	E 29-22	410	12.0	48.7	3.3	-1.22	0.4160	0.3162	-0.8809	7.08	0.7392	4.2
	E 29-5-2	410	14.7	54.5	3.6	-1.22	0.4357	0.3162	-0.8608	7.08		4.2
	E 109-35	400	14.0	48.0	3.9	-1.10	0.5170	0.3236	-0.7765	7.20		4.2
	E 29	390	17.0	48.9	4.7	-0.98	0.6520	0.3311	-0.6658	7.32		4.1
	E 29-15	380	15.0	49.7	4.1	-0.86	0.6864	0.3548	-0.6134	7.44		4.1
	E 29-1-1	360	14.0	53.0	3.5	-0.62	0.8043	0.3802	-0.5146	7.68		4.2
	E 29-5-3	350	13.4	51.6	3.5	-0.50	0.9055	0.3951	-0.4464	7.80		4.1
	E 110-71-1	340	17.0	52.0	4.4	-0.38	1.1620	0.4074	-0.3248	7.92		4.1
	E 29-10	325	17.0	52.0	4.4	-0.20	1.3804	0.4369	-0.2169	8.10		4.1
	E 29-1-2	320	16.0	53.6	4.0	-0.14	1.3778	0.4467	-0.2108	8.16		4.1
	E 29-7	320	16.0	53.6	4.0	-0.14	1.3778	0.4467	-0.2108	8.16		4.1
	E 29-1-19	320	17.0	52.7	4.3	-0.14	1.4392	0.4467	-0.1919	8.16		4.1
	E 29-1-16	320	16.1	53.5	4.0	-0.14	1.3778	0.4467	-0.2108	8.16		4.1
	E 29-1-13	320	16.0	53.6	4.0	-0.14	1.3778	0.4467	-0.2108	8.16		4.1
	E 109-302	290	14.3	56.7	3.4	+0.22	1.6865	0.5012	-0.0730	8.52		4.1
	E 110-71-2	280	17.0	56.7	4.0	+0.34	2.0602	0.5129	+0.0240	8.64		4.1
	E 29-5-1	210	20.0	58.4	4.6	+1.18	3.6970	0.6310	+0.3679	9.48		4.2
马 拉 松 多	M3-147-1	440	15.0	55.2	3.7	-1.58	0.2974	0.2512	-1.1266	6.72	0.6665	4.2
	M3-244-2	430	12.9	45.1	3.8	-1.46	0.3476	0.2818	-1.0090	6.84		4.2
	M3-244-1	420	13.2	52.8	3.4	-1.34	0.3731	0.2951	-0.9582	6.96		4.2
	M3-244-3	400	15.0	46.8	4.3	-1.10	0.5447	0.3236	-0.7538	7.20		4.1
	M3-147	360	12.0	52.0	3.1	-0.62	0.7509	0.3802	-0.5444	7.68		4.1
德 兴	M3-244	340	16.0	51.0	4.2	-0.38	1.1312	0.4074	-0.3364	7.92	0.8814	4.0
	903/155-8	430	16.5	35.0	6.3	-1.46	0.4524	0.2818	-0.8945	6.84		4.2
903/155-1		280	19.6	43.9	5.9	+0.34	0.6618	0.5129	-0.4692	8.64		4.7

$T_{H^+}^{\circ}C$ ——均一温度; W_{KCl} 、 W_{H_2O} ——流体中KCl、 H_2O 的质量百分数; m_{KCl} 、 m_{K^+} ——流体中KCl、 K^+ 含量(摩); γ_{K^+} —— K^+ 活度系数; α_{K^+} —— K^+ 活度;
 K' ——KCl溶解平衡常数; K ——平衡常数; α_{K^+} —— K^+ 活度

$T/^{\circ}\text{C}$	100	150	200	250	300	350
pH	6.135	5.82	5.65	5.6	5.65	5.84

将玉龙、馬拉松多和德兴等矿床的pH计算值(4.0—4.7),与水的中性线(200—350℃时, $\text{pH}=5.65\text{—}5.84$)进行比较,便不难看出,绢英岩和钾硅化岩形成于弱酸性—酸性流体,此亦为斑岩铜(钼)矿矿石沉淀的pH值条件。根据 Barnes (1983)的资料^①,世界云英岩型锡矿床的平均pH值为5.6左右,近于弱酸性;美国威斯康新州密西西比河谷型铅锌矿的pH值为6.13,为弱碱性。三者的对比见图1。

三、成矿流体的沸腾

斑岩铜(钼)矿化主要产于浅成—超浅成环境。从岩浆房中分离出来的流体,最初呈临界或超临界状态的均匀流体相,当这种均匀流体相大量聚集于斑岩体顶部时,会产生巨大的机械能,使流体内压加大(据某些流体包裹体测定,流体内压力可达2000—2700bar)。当流体内压大大超过围岩静压时,就可能导致斑岩体顶部爆破,使原来旧的封闭体系破坏,而代之以新的开放体系。流体体系的这种转变,会引起压力释放,使原先高温高压的流体相产生沸腾,即 $F(\text{流体相}) \xrightarrow{\text{减压}} L(\text{液相}) + V(\text{气相})$,谓之流体的减压沸腾。

流体的沸腾会引起沸腾面上下相态的显著差别。沸腾面之上以气相占优势,沸腾面以下以液相占优势。因此,在沸腾条件下捕获的流体包裹体,其气相百分数和盐度必然相差悬殊。在斑岩铜(钼)矿的顶部,我们常常能发现气相百分数很大(达80%以上)的气体包裹体与高盐度多相包裹体,甚至与气相百分数很小的液体包裹体共存,且它们的均一温度也很接近^[6,7]。这正是流体沸腾的一个重要标志。

成矿流体沸腾使挥发组分从流体相中进一步分离出来。而 CO_2 、 SO_2 、 P_2O_5 和 HCl 等组分一旦从流体相中分离出来,便会导致斑岩顶部发生酸性淋滤作用,同时也使流体相搬运有用金属组分的能力大大降低,如使金属络合物发生分解,最终造成金属矿物在斑岩体顶部和顶部围岩中大量堆积。因此,成矿流体的沸腾对于斑岩矿石的堆积作出了积极的贡献。

四、包裹体演化机制

玉龙矿带熔融包裹体研究表明:同源火山岩中熔融包裹体比非含矿斑岩中熔融包裹体发育,非含矿斑岩又比含矿斑岩发育,同源中深成侵入岩中尚未发现熔融包裹体;均一温度由同源火山岩($1200^{\circ}\text{C} \pm$)→非含矿斑岩(1100°C)→含矿斑岩($1000^{\circ}\text{C} \pm$)依次降低。由此可见,形成熔融包裹体的有利条件是:喷出或浅成—超浅成环境;挥发组分逃逸;快速固结的岩浆;岩浆固结后不再(或很少)发生再结晶作用等。影响均一温度的因素是:岩浆侵位的深度,侵位越浅,温度越高;岩浆中挥发组分的多寡,挥发组分多,温度低;岩浆固结的速度,速度快,温度高。

三个矿带流体包裹体研究表明,初始流体从岩浆中分出的时间随岩浆侵位的深度不同而

① H. S. Barnes 1983年在中国地质科学院矿床地质研究所的讲课材料。

异。通常超浅成侵入的含矿斑岩其初始流体相形成最早，温度高达 $900^{\circ}\text{C} \pm$ （马拉松多）；浅成侵入的含矿斑岩初始流体相形成较晚，温度最高达 $740^{\circ}\text{C} \pm$ （铜厂）；中深成侵入的含矿斑岩初始流体相形成更晚，温度最高为 $550^{\circ}\text{C} \pm$ （多宝山）。

图2表示浅成—超浅成环境中斑岩铜（钼）矿的包裹体类型及其演化情况。图中A、A'、A''均为熔融包裹体。A在喷出条件下捕获，由于冷却速度快，常是具有裂纹的玻璃包裹体；A'和A''在浅成—超浅成条件下捕获，常含有黑云母、磷灰石和磁铁矿等子晶，或（和）为气泡较大且透明的玻璃包裹体。B、B'、B''均为气体包裹体。B是在固相线之上捕获的，其流体是岩浆二次沸腾的产物，具有很高的均一温度（ $900^{\circ}\text{C} \pm$ ）；B'和B''是在岩浆固结线之下捕获的、其流体是岩浆期后流体减压沸腾的产物，它们的均一温度一般较B型低得多，为 $350-650^{\circ}\text{C}$ 。

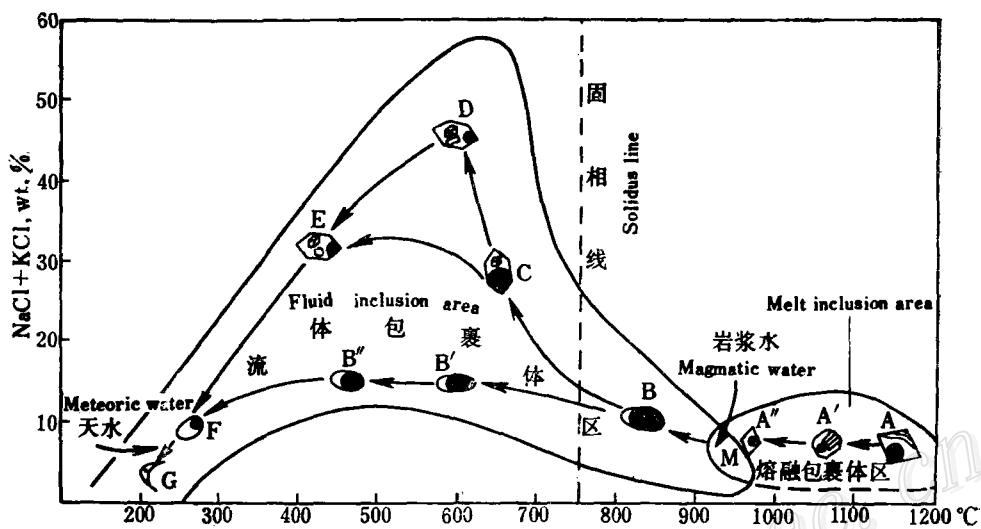


图2 斑岩铜（钼）矿包裹体类型及其演化略图

Fig. 2. Types and evolutionary pattern of inclusions in porphyry copper (molybdenum) deposits.

在A和B之间有时可以见到熔融包体和流体包体共生。尤其是在M区，由于岩浆水与岩浆熔体共存，一旦岩浆骤然冷却，这两种流体相便会同时被封存。

C为大气相含NaCl子晶的流体包裹体，主要是由于HCl分解了斜长石，带给岩浆中的独立流体相一定量的NaCl而形成的。

D为含NaCl和 CaSO_4 子晶的多相包裹体，是因斜长石继续分解，给流体相提供了足够的NaCl，和 SO_2 在高温下水解产生的 SO_4^{2-} 进入流体相，并被捕入包裹体中而形成。该类包裹体主要见于钾硅酸盐蚀变带。

E为含NaCl和KCl子晶的多相包裹体，是由于斜长石和钾长石大量分解，给流体相带来较多的NaCl和KCl的结果。它们主要见于石英绢云母化带和石英钾长石化带内。

C、D和E三类多相包裹体的均一温度主要为 $250-500^{\circ}\text{C}$ ，它代表了矿石沉淀的温度范围，其发育地段正是矿石堆积的场所。

F和G为液体包裹体。由于天水的大量参与^[12], 流体相的盐度大大降低, 温度降至200℃±, pH值也随之发生变化, 金属硫化物沉淀大大减少。因而许多斑岩铜(钼)矿体的边界在E型和F型流体包裹体发育地段之间。

衷心感谢矿床地质研究所铜组提供地质资料和样品, 衷心感谢李鹏九和刘玉山同志对论文进行审阅。

参 考 文 献

- [1] 李荫清、芮宗瑶、程莱仙 1981 玉龙斑岩铜(钼)矿床的流体包裹体及成矿作用研究 地质学报 第3期
- [2] 芮宗瑶、李荫清、张洪涛 1982 根据流体包裹体鉴别藏东玉龙斑岩铜(钼)矿带的含矿斑岩和非含矿斑岩 中国地质科学院矿床地质研究所刊 第4期
- [3] 朱训、黄崇珂、芮宗瑶等 1983 德兴斑岩铜矿 地质出版社
- [4] 杜琦 1980 多宝山斑岩铜矿床蚀变与矿化特征 地质学报 第4期
- [5] Eastoe, C. J., 1978, A fluid inclusion study of the Panguna porphyry copper deposits, Bougainville, Papua New Guinea. *Econ. Geol.*, Vol. 73, pp. 721-748.
- [6] Nagano, K., Takenouchi, S., Imai, H. and Shoji, T., 1977, Fluid inclusion study of the Mamut porphyry copper deposit, Sabah, Malaysia. *Mining Geol.*, 27, pp. 207-212.
- [7] Roedder, E., 1978, Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Motana, and Climax, Colorado. *Econ. Geol.*, Vol. 66, No. 1, pp. 98-120.
- [8] Crerar, D. A. and Barnes, H. L., 1976, Ore solution chemistry V. Solubilities of chalcopyrite and chalcocite assemblages in hydrothermal solution at 200 to 350℃. *Econ. Geol.*, Vol. 71, No. 4, pp. 772-794.
- [9] Shade, J. W., 1974, Hydrolysis reactions in the SiO₂-excess portion of the system K₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O in chloride fluid at magmatic conditions. *Econ. Geol.*, Vol. 69, pp. 218-228.
- [10] Montoya, J. W. and Hemley, J. J., 1975, Activity relations and stabilities of alkali feldspar and mica alteration reactions. *Econ. Geol.*, Vol. 70, No. 3, pp. 577-594.
- [11] Helgeson, H. C., 1969, Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. *Amer. Journal of Science*, Vol. 267, No. 7, pp. 729-804.
- [12] Hemley, R. W. and McNabb, A., 1978, Magmatic vapour plumes and ground-water interaction in porphyry copper emplacement. *Econ. Geol.*, Vol. 73, No. 1.

EVOLUTION MECHANISM OF INCLUSIONS AND METALLOGENIC PH CONDITION OF SOME MAJOR PORPHYRY COPPER (MOLYBDENUM) DEPOSITS IN CHINA

Li Yinqing

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

Abstract

Besides summarizing the type, homogenization temperature, salinity, composition, fluid boiling and evolution mechanism of inclusions in porphyry copper (molybdenum) deposits of China, this paper has discussed particularly the pH

condition during quartz-sericitization and potash silicate alteration. If the homogenization temperature, KCl and NaCl concentration and chemical composition of K-feldspar and sericite are obtained from fluid inclusions in those alteration zones, the pH and α_{K^+} values of ore-forming fluids can be calculated without difficulty.

The data gained in the Yulong, Malasongduo and Dexing porphyry copper deposits show that at the stages of quartz-sericitization, potash-silicate alteration and the precipitation of large quantities of metalliferous ores, the ore-forming fluids had α_{K^+} values of 0.1—2.5 mol with the average of 0.67 mol, and pH values of 4.0—4.7.

The uninterrupted change of magmatic and postmagmatic fluids with the variation in temperature, pressure and composition resulted in different types and associations of fluid inclusions in minerals for different rock-forming and ore-forming stages. Above the magmatic solidus line the primary gas-inclusions with high temperature (900°C) can be found, sometimes coexisting with melting inclusions. However, at the stage most favorable for ore deposition, polyphase-inclusions rich in daughter minerals are predominant; they are associated with gas-inclusions and a few liquid-inclusions, and have homogenization temperatures of 250—500°C. At the late stage of mineralization, the mixing with the meteoric water led to the decrease of salinity, and the temperature of fluid phase was also decreased to 200°C, accompanied by the evolution of liquid inclusions into biphasic gas-liquid inclusions.

(上接第39页)

4月24日至28日野外考察,主要考察了泰国北部清迈附近的一些重要钨锡矿床及有关花岗岩,包括:沙蒙(Samoeng)、曼切提(Mae Chedi)锡钨矿床、泰拉(Tara)钨锡矿床、都朗(Thung Laung)锡(钨)矿床和独岗(Doi Ngorn)锑钨矿床。在考察过程中,代表们对花岗岩岩石学、围岩蚀变现象、矿床成因和其它有关地质问题进行了热烈的讨论。在此期间还参观了泰国新建的最大炼锌厂、白钨矿选矿厂和第一个油田。

会议初步决定,下次学术讨论会和工作会议将于1986年8(或9)月份在马来西亚举行。讨论议题为“锡钨花岗岩岩石学、矿物学和锡钨矿床成因”,并将组织野外地质参观,不久将发出正式通知。

5月2日中国代表应邀参观了曼谷的丘来朗哥(Chulalongkorn)大学地质系。

这次会议使我们有机会和泰国以及其他国家的地质同行进行较广泛的接触和学术交流,获得了不少有关锡钨花岗岩、蚀变作用和矿化作用等方面的新信息,开阔了眼界。与此同时,还结识了许多新的朋友,增进了中国地质工作者和泰国以及其它国家地质学者之间的友谊。许多国家的代表对中国锡钨矿床和有关花岗岩都有浓厚的兴趣,希望来中国参观访问,争取参加1987年在我国举行的第三次学术讨论会。

(赵一鸣)