

富家坞斑岩铜(钼)矿床钾长石化*条件的初步实验研究

桂林冶金地质研究所成岩成矿实验组

钾长石化是斑岩铜(钼)矿床的一种重要蚀变,也是找矿评价标志之一。本文提供了高温高压实验研究富家坞斑岩铜(钼)矿床钾长石化条件的初步结果,以期对进一步研究该类矿床成因机理和指导找矿评价有所帮助。

一 实验条件的确定

实验在体积为10~13毫升的自紧式高压釜中进行。实验条件是根据矿床地质特征和包果体资料确定的。

1. 温度和压力的确定 包果体资料表明,该矿床有三组爆裂温度数据:160~215°C(均化温度为155~218°C)、260~360°C(均化温度为255~471°C)和595~665°C(均化温度540~550°C)。因此,实验温度确定在250~600°C间。

富家坞矿床成矿母岩属燕山中早期花岗岩闪长斑岩。根据岩体呈岩株状、无明显岩相分带、边部指状岩枝发育、岩石具斑状结构、斑晶受熔蚀、钾长石以正长石为主、斑晶斜长石环带细密等特征,推断形成深度约2公里,其成岩压力相当500大气压。又据包果体资料,成矿压力约200大气压。故大多数实验在200~500(少数500~1000)大气压范围内进行。

2. 介质溶液的确定 富家坞矿床岩石蚀变可划为五个带,自岩体由内而外依次呈环状分布。各带相对位置及其出露宽度如下:

矿床主要产于石英—绢云母—水白云化带和部分石英—钾长石化带、水白云母—伊利石化带中。各蚀变带的岩石化学成分按巴

伊利石— 钠长石化带 (>100米)	石英— 钾长石化带 (180~ 200米)	石英— 绢云母— 水白云 母化带 (50~200 米)	水白云母— 伊利石化带 (100~200 米)	绿泥石— 绿帘石化带 (100~150 米)
(内带) ← — (接触带) — → (外带)				

尔特法计算表明,钾、硅、水等被带入,钙、铝、钠常被带出。因而,选择硅饱和的KCl、K₂CO₃和KCl+K₂SO₄溶液作为实验介质溶液。

3. 实验试料的配制 斜长石选自成矿母岩—花岗闪长斑岩,其电子探针分析结果(%)为:

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃
60.38	0.01	23.64	0.25

MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	合计
0.07	6.19	7.36	0.69	0.06	98.65

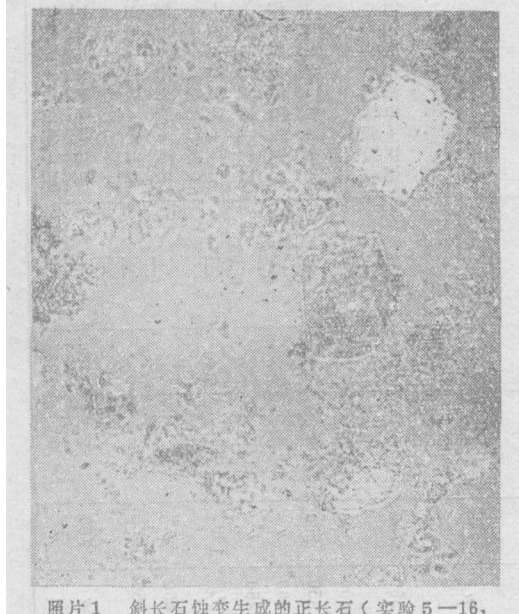
按氧原子法计算,合并简化后的矿物分子式为0.3(CaAl₂Si₂O₈)·0.7(NaAlSi₃O₈),即An₃₀斜长石。将它研磨至200网目,并与定量的化学纯偏硅酸(H₂SiO₃)混合均匀,作为实验用的原始试料。

实验前介质溶液的pH值分别用KOH、HCl溶液调到所需数值,实验前后的pH值用精密pH试纸或25型酸度计测量。实验结束后,将高压釜里的固液相定量分离。用原子吸收光谱测定液相中的Na₂O、K₂O含量,固相用油浸法、X射线粉晶分析(部分作了电子探针分析)鉴定。

* 文中“钾长石化”,系“石英—钾长石化”简称。

二 实验结果与讨论

共做了49次试验,其实验条件和试验结果整理于表1。在我们的实验条件下,形成了钾长石(照片1、2、3)、更钠一长石(照片4)、石英、铁橄榄石(照片2)、钙铁辉石(照片2、3)、霓石(照片3)、黑云母、沸石、硬石膏(照片4)以及磁铁



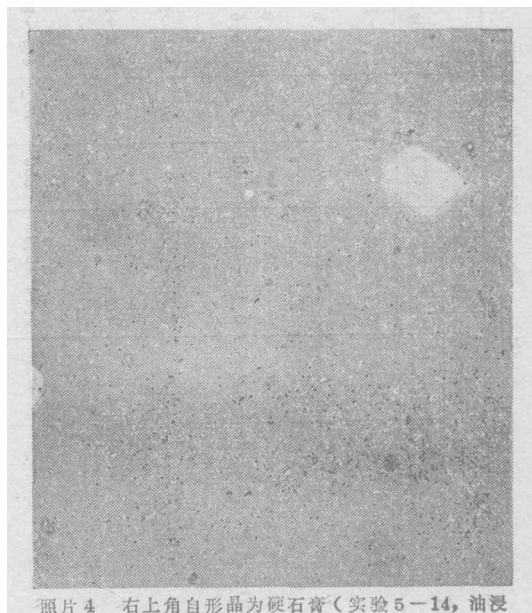
照片1 斜长石蚀变生成的正长石(实验5—16, 油浸制片, 正交偏光 $\times 480$)



照片2 大晶体为铁橄榄石。上部柱状晶体为钙铁辉石, 其它为钾长石(实验12—3, 油浸制片, 单偏光 $\times 480$)



照片3 板状晶体为霓石, 针状晶体为钙铁辉石, 粒状晶体为钾长石(实验6—7, 油浸制片, 正交偏光 $\times 480$)



照片4 右上角自形晶为硬石膏(实验5—14, 油浸制片, 正交偏光 $\times 192$)

矿、赤铁矿等。需要指出的是,铁橄榄石、钙铁辉石等含铁矿物是在介质溶液为高压釜之铁(即无黄金、白银衬套保护)所饱和的实验中形成的。下面分别叙述和讨论钾长石化的条件及其地质意义。

实验条件与结果 表 1

实验号	原始成分 (毫克)	介质		温度 (°C)	压力 (atm)	pH 值 (实验后)	恒温 时间 (小时)	K/K+Na (在实验后溶 液中)	反应产物 (按含量由少到多排列)
		类型	浓度(克离子/升)						
5-18*8-5* 3-8**	斜长石(66.9)+H ₂ SiO ₃ (26.8)	KCl	0.44~0.50	600	500	2.7~10.0	93	0.82~0.83	石英+更一钠长石+钾长石
6-8	"	"	0.47	"	"	9.5	"	0.82	黑云母+铁橄榄石+钙铁辉石+石英+更一钠长石+钾长石
12-8	"	"	0.38	"	"	7.0	"	—	铁橄榄石+钙铁辉石+石英+更一钠长石+钾长石
8-8 12-16 5-21 9-4 13-11	斜长石(100.0)+H ₂ SiO ₃ (40.0)	"	0.15~0.34	500	"	5.6	38	0.69~0.80	黑云母+铁橄榄石+钙铁辉石+石英+更一钠长石+钾长石
13-5* 11- 4** 5-15*	"	"	0.42~0.48	"	"	3.0~8.2	87	0.82~0.83	石英+钾长石
8-2 14-1	"	"	0.42~0.47	"	"	6.4~9.5	"	0.83	钙铁辉石+石英+钾长石
5-16* 8-3** 11-5** 14-2	"	"	0.16~0.22	400	"	5.3~9.5	158	0.75~0.83	石英+钾长石
8-9 12-7 5-22* 9-5 13-12**	"	"	0.14~0.19	350	"	4.7~8.2	168	0.96~0.98	石英+更一钠长石+斜长石(原始样品)
8-4 12-2 5-17* 13-7** 14-8**	"	"	0.12~0.16	300	"	4.4~8.8	165	—	旦白石+石英+更一钠长石+斜长石(原始样品)
8-6 12-4 5-19 9-2 13-9	"	"	0.12~0.17	"	300	4.7~10.0	200	0.95~0.96	"
5-20	"	K ₂ CO ₃	0.09	500	700	8.0	136	0.82	霓石+石英+钾长石+更一钠长石+斜长石(原始样品)
13-10	"	"	0.09	400	320	9.0	"	0.89	"
9-8	"	"	0.10	350	200	11.0	"	0.74	石英+更一钠长石+钾长石
8-7	"	"	0.10	300	"	10.0	"	0.74	霓石+石英+更一钠长石+钾长石
12-5	"	"	0.10	250	"	11.0	"	0.93	石英+钾长石+更一钠长石+斜长石(原始样品)
12-1	斜长石(250.0)+H ₂ SiO ₃ (76.7)	KCl+K ₂ CO ₃	3.61	"	1000	14.0	840	—	石英+钾长石+更一钠长石+沸石+斜长石(原始样品)
13-8	斜长石(250.0)+H ₂ SiO ₃ (78.0)	KCl+K ₂ SO ₄	2.43	450	"	13.0	156	—	石英+钾长石+纤维状物质
6-6 5-12	斜长石(250.0)+H ₂ SiO ₃ (205.5)	"	2.64~2.85	450	"	"	"	—	黑云母+石英+钾长石+更一钠长石+斜长石(原始样品)
5-14	斜长石(87.7)	"	3.44	"	700	7.0	76	—	硬石膏+钾长石+更一钠长石
5-11	斜长石(250.0)	KCl	0.36	"	"	4.0	136	—	更一钠长石+斜长石(原始样品)

*高压釜带有金衬套, **高压釜带有银衬套。

1. 钾长石化与溶液类型和温度、压力的关系

(1) 硅饱和的KCl溶液 在600°C和500大气压下, 形成了石英+更一钠长石+钾长石(有衬套)和±黑云母+铁橄榄石+钙铁辉石+石英+更一钠长石+钾长石(无衬套)等矿物组合, 钾长石含量占70~80%, 钠长石占10%左右。

在500°C和500大气压下, 钾离子浓度(C_{K^+})不同, 形成的矿物组合也不同: ①当 $C_{K^+}=0.15\sim0.34$ (克离子/升)时, 形成黑云母+铁橄榄石+钙铁辉石+石英+更一钠长石+钾长石等矿物组合(无衬套); ②当 $C_{K^+}=0.34\sim0.48$ 时, 矿物组合为石英+钾长石(有衬套)和钙铁辉石+石英+钾长石(无衬套)。在上述两种情况中, 钾长石含量均在80%以上。

在400°C和500大气压下, 形成石英+钾长石的矿物组合。钾长石的含量在90%以上。

在350°C和500大气压下, 矿物组合为石英+更一钠长石+斜长石(原始样品)。更一钠长石含量在20%以上。

在300°C和500、200大气压下, 虽可形成更一钠长石(5~10%)和钾长石(2~5%), 但原始斜长石含量却在80%以上。

(2) 硅饱和的 K_2CO_3 溶液 在250~500°C和200~700大气压范围内, 形成了含钾长石的不同矿物组合。其中在300~350°C和200大气压下, 钾长石化最强烈(含量在80%以上)。其矿物组合为: ±霓石+石英+更一钠长石+钾长石(无衬套)。

(3) KCl+ K_2SO_4 或硅饱和的KCl+ K_2SO_4 溶液 在300~450°C和500~1000大气压范围内, 斜长石在上述溶液作用下仅发生弱的钾长石化(含量为10~25%)或未被钾长石化。在450°C和700大气压下, 形成硬石膏+石英+钾长石+更一钠长石的矿物组合。

综上所述, 可见硅饱和的KCl和 K_2CO_3 溶液是使斜长石强烈钾长石化的最好介质溶液, KCl+ K_2SO_4 或硅饱和的KCl+ K_2SO_4 溶液则最差。同时, 硅饱和的KCl和 K_2CO_3 溶液是分别在不同的温度压力条件下使斜长石强烈钾长石化的。Г·Б·纳乌莫夫(1977年)指出: 包裹体的主要成分是水、二氧化碳和碱的氯化物。温度不同, 它们之间的量比也不同。由表2所列数据可见, 在400~600°C范围内, 碱的氯化物占绝对优势; 而 CO_2 在200~400°C范围内所起的作用最大。这与上述实验结果是一致的。

石英结晶时内生流体的成分资料
(据Haymon, 1977) 表2

测量数目	均化温度范围(°C)	包裹体在20°C下的相状态		
		两相的, %	液体 CO_2 的, %	子晶矿物的, %
577	20~200	91	4	5
1451	200~400	67	19	14
176	400~600	34	7	59
2204	20~600	71	14.5	14.5

2. 钾长石与K/K+Na和溶液浓度的关系 由表1可见: (1) 当斜长石在硅饱和的KCl溶液中强烈钾长石化时, 在与固相共存的液相中的K/K+Na比值为0.69~0.83; 而未钾长石化的或仅形成少量钾长石化的, K/K+Na比值则为0.95~0.98。(2) 当硅饱和的 K_2CO_3 溶液使斜长石强烈钾长石化时, 与固相共存的液相之K/K+Na为0.74; 仅有微弱钾长石化的, K/K+Na为0.82~0.89; 而未产生钾长石化的, 则为0.93。综上所述, 可见K/K+Na $\leq$ 0.83, 是使斜长石强烈钾长石化的一个重要条件。

钾长石化与原始溶液中钾离子浓度也有一定的关系(表1)。对硅饱和KCl和 K_2CO_3 溶液来说, 使斜长石强烈钾长石化的最低边界浓度分别为0.15和0.10(克离子/升)。

3. 介质溶液状态与钾长石化的关系 研究介质溶液在给定实验条件下的相状态, 对查明钾长石化的形成阶段是有意义的。

G.C.肯尼迪等(1962年)研究过NaCl—H₂O体系的临界参数。对非饱和的NaCl溶液, 其临界温度与溶液重量百分浓度近成直线关系。其中尤以浓度在0~5%范围内的线性关系最好。若KCl溶液与NaCl溶液相似, 则可按公式 $T_{K,C} = 374 + 9.26C$ (式中, C—溶液的重量百分浓度, $T_{K,C}$ —浓度为C时的临界温度)计算不同条件下的临界温度(表3)。由表3可见, KCl介质溶液在400℃以上时, 为超临界状态下的气相; 在400℃时, 处于气液相共存的临界状态; 在350℃及其以下时, 介质溶液处在临界温度以下的液相状态。所以, 斜长石是在超临界状态下的气化阶段和临界状态下的气液阶段产生强烈钾长石化的。

硅饱和的KCl溶液在实验条件下的临界
温度($T_{K,C}$) 表3

实验条件		重量百分浓度(%)	按公式计算的临界温度($T_{K,C}$)	介质溶液的状态
温度(℃)	压力(atm)			
600	500	2.8~3.6	401~408(℃)	气相
500	"	3.0~3.4	403~407	"
500	"	1.1~2.5	385~398	"
400	"	1.2~1.6	386~389	气相+液相
350	"	1.0~1.4	384~387	液相
300	"	0.9~1.2	383~386	"
300	300	0.9~1.3	383~387	"

4. 地质意义 一般认为, 班岩铜(钼)矿床的形成, 经历了从岩浆期后高温气化—热液阶段直到中低温热液阶段的长期发展过程, 而蚀变与矿化则是密切相关的两个侧面, 它们几乎是同时发生和发展的。因此, 实验研究岩石蚀变的条件, 有助于查明矿床形成机理的某些问题。

(1) 关于钾长石化带的形成问题 富家坞矿床的钾长石化, 发育于花岗闪长班岩体的中上部; 它早于石英—绢云母—水白云母化, 而晚于伊利石—钠长石化。包裹体资料表明, 钾长石化是在360℃以上形成的, 并在矿体范围内, 常见包裹体有NaCl、KCl、FeS₂等子矿物, 说明碱金属氯化物在矿化蚀变过程中起过很重要的作用。我们的实验结果与上述资料是吻合的。实验证明, 硅饱和的KCl溶液在400~600℃和500大气压下可使斜长石强烈地钾长石化。同时, 随着温度从600℃降到400℃, 斜长石的钾长石化益趋强烈, 矿物组合也愈益简单, 即为石英+钾长石。据此, 对富家坞矿床钾长石化带的形成过程可作如下推断: 钾长石化带是富钾、硅的岩浆期后流体(其主要成分是硅饱和的、 $K/(K+Na) \leq 0.83$ 的碱金属氯化物和水等), 在高温气化作用阶段到高温气液作用阶段的整个演化过程中, 对花岗闪长班岩进行交代而形成的, 而它又主要形成于高温气液作用阶段。钾长石交代石英斑晶呈似文象环边结构以及交代斜长石斑晶呈镶边结构(残存斜长石被更一钠长石化)和似伟晶岩团块的存在等, 乃是存在高温气化作用阶段的良好佐证。具花岗变晶结构的石英钾长岩的发育, 则是气液交代作用强烈的具体表现。

(2) 关于石英化问题 与中酸性浅成侵入体有关的班岩铜(钼)矿床, 普遍发育石英化。富家坞矿床石英化的表现形式是: 在钾长石化带中, 石英与钾长石组成具花岗变晶结构的石英钾长岩; 在石英—绢云母—水白云母带中, 则以细脉形式产出。实验结果表明, 斜长石带的钾长石化除了需具备适宜的温压条件外, 介质溶液中硅是否饱和亦是重要的因素。如实验5—11等的结果(表1)就说明了这个问题。由此可见, 介质溶液饱和硅, 既是蚀变、也是矿化富集的一个重要条件。

(3) 关于早期更一钠长石化问题

富家坞矿床是否存在早期更一钠长石化以及能否划为一个独立的蚀变带,是一个有争议的问题。我所斑岩铜矿专题组认为是存在的,并可划出一个蚀变带。该矿床花岗闪长斑岩体近中心部位、钾长石化带内侧的伊利石-钠长石化带,便是早期更一钠长石化的产物。多宝山、公婆泉等矿床也存在早期更一钠长石化,但表现形式略有不同。我们的实验结果证实了这一认识是正确的。实验证明:含钾溶液在宽广的温压范围内,均使斜长石产生不同程度的更一钠长石化。有趣的是硅饱和KCl溶液,只有在500大气压和700℃以上时,斜长石除了强烈地钾长石化外,还产生更一钠长石化。而在400℃和500大气压下,斜长石仅发生强烈的钾长石化,而不形成更一钠长石,在400℃以下时,斜长石也可产生不同程度的更一钠长石化。因此,更一钠长石化至少应以400℃为界区分为早晚两期。这也就说明了在钾长石化早期或前期,应存在一期更一钠长石化。

(4) 关于“复合”矿床问题 斑岩型矿床在一定条件下与夕卡岩型矿床共生,构成所谓“复合”矿床。丰山洞,武山和城门山等矿床就是其中的例子。显而易见,钙质围岩的存在,是形成该类“复合”矿床的重要地质条件之一。实验资料表明,在适宜于钾长石化而又无衬套(即介质溶液为铁所饱和)的实验中,形成了钙铁辉石等典型夕卡岩矿物(表1)。由此可见,含矿溶液为铁所饱和,是形成这类“复合”矿床的又一重要条件。同时实验资料还说明,夕卡岩化和早期钾长石化,在形成时间上大致相当。

三 几点初步认识

1. 在400~600℃和500大气压下,硅饱和的KCl溶液($C_{K^+} \geq 0.15$ 克离子/升)可使斜长石强烈钾长石化。无铁存在时,形成石英+更一钠长石+钾长石的组合(共存液相之 $K/(K+Na) \leq 0.83$)。随着温度从600℃降到400℃,钾长石化更强烈,矿物组合也更简单,即为长英+钾长石。因此,400℃和500大气压是钾长石化最适宜的条件。

2. 硅饱和的 K_2CO_3 溶液($C_{K^+} \geq 1.0$ 克离子/升)在300~350℃和200大气压下,可使斜长石强烈钾长石化。无铁存在时,其矿物组合为石英+更一钠长石+钾长石,而共存液相中之 $K/(K+Na) = 0.74$ 。

3. KCl+ K_2SO_4 或硅饱和的KCl+ K_2SO_4 溶液,在300~450℃和500~1000大气压下,虽然原始介质中的钾离子浓度高达2.43~3.16克离子/升,但最多也只能使斜长石产生弱的钾长石化。

4. 富家坞矿床石英-钾长石化带是富含KCl、饱和硅的岩浆期后流体,在超临界和临界状态下,交代花岗闪长斑岩形成的,而它又主要形成于临界状态的气液作用阶段。

5. 在钾长石化早期或前期,存在更一钠长石化。

6. “复合”矿床的形成条件,除钙质围岩外,成矿溶液应富含铁。

实验工作是在我所有关科室和斑岩铜矿队的支持下完成的。此外,文中引用了本所有关专题组和富家坞会战指挥部的部分地质资料,引用了本所矿物包果体研究组的部分资料,在此一并致谢。

