矿 床 地 质
2000 年 MINERAL DEPOSITS 第19 卷 第3 期

文章编号: 0258-7106 (2000) 03-0257-07

相山矿田热液水云母化及其与铀矿化关系研究

温志坚[1,2] 杜乐天[1] 刘正义[1]
(1. 核工业地质研究院, 北京 100029; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

提 要: 相山铀矿田广泛发育热液水云母化, 且水云母以伊利石、蒙皂石混层矿物居多。对典型矿床围岩、蚀变岩石和矿石中粘土组成的定量分析和化学成分分析表明: 随着U 元素的逐渐富集, 粘土矿物存在蒙皂石→伊利石、蒙皂石混层矿物→伊利石的转化过程, 而且这一转化过程在本区是一个动态的平衡过程, 这一研究结果很好解释了相山矿田以群脉型矿床为主的特征; 蚀变岩石中高蒙皂石含量的粘土矿物为后期形成富大铀矿起了富集U 的作用。

关键词: 相山铀矿田 水云母化 伊利石、蒙皂石混层矿物 铀成矿作用
中图法分类号: P619.14 文献标识码: A

1 相山矿田热液水云母化简介

相山铀矿田位于江西省中部晚侏罗世中酸性火山塌陷盆地 (相山盆地) 中, 是我国典型的火山热液型铀矿田。矿田范围内分布有几十个矿床, 大致划分为两种矿床类型, 即碱交代型铀矿床和萤石-水云母型铀矿床。各类型铀矿床中都广泛发育有大范围的热液水云母化蚀变作用。广泛而强烈的热液水云母化作用主要发育在矿田西部萤石-水云母型矿床中。东部碱交代型矿床中水云母化表现较弱。在两大类型的矿床中, 热液水云母化均呈带状或脉状产出。水云母化蚀变带的产状、规模、形态和大小严格受构造控制。由于构造产状较陡, 在大多数矿床中水云母化表现出明显地对称交代, 即沿构造两侧, 蚀变宽度大致相等。根据构造规模大小可以将水云母化蚀变带分为主构造型和网状裂隙型。东部碱交代型矿床以及西部6122 矿床3 号矿带属主构造型水云母化蚀变, 水云母化蚀变晕宽达十几米至数十米, 沿构造延伸达数公里; 而矿田西部各矿床则以网状裂隙型水云母化为主。单个裂隙两侧水云母化蚀变晕的宽度一般只有3~ 5 m, 最多不超过十几米, 延伸长度为几十米。但是当这些网状裂隙十分稠密的时候, 各个裂隙蚀变晕则连成一个整体, 构成宽达几十米甚至上百米的巨大的水云母化蚀变带, 当地地质工作者习惯称之为灰色带。热液水云母化蚀变对岩性有一定选择性。在酸性火山岩和次火山岩中较发育, 而在变质岩和砂岩中则发育较弱●。

因此, 水云母化是相山矿田范围内最广泛、最基础的一种热液蚀变作用, 在成矿前及成

基金项目: 本文为核工业行业基金资助项目 (编号: 地铀9607) 的部分成果
第一作者简介: 温志坚 (1968—), 男, 博士, 矿床地球化学专业, 目前在中国地质科学院做博士后研究工作
收稿日期: 1999-08-11; 修订日期: 1999-12-09
●王思龙、张学权, 1980, 相山矿田的热液水云母化蚀变及其在铀成矿中的作用, 核工业北京地质研究院, 内部报告

http://www.kcdz.ac.cn/

矿期都普遍存在。这一认识可以外推到整个赣杭构造火山岩铀成矿带内 。本文在前人工作的基础上对矿田范围内典型矿床之水云母化进行深入的研究，以期揭示水云母化在U 前期富集直至后来的大规模的热液活动中U 富集成富大矿床的地质作用过程中所起的重要作用。

2 相山矿田水云母化与铀矿化关系研究

2.1 水云母

水云母代表一类矿物，叫水云母族，这一族有 3 种矿物[1]:

(1) 水钠云母 (Brammallite) $Na_{1-x}(H_2O)_x\{Al_2[AlSi_3O_{10}](OH)_{2-x}(H_2O)_x\}$

(2) 水白云母 (Hydromuscovite) $K_{1-x}(H_2O)_x\{Al_2[AlSi_3O_{10}](OH)_{2-x}(H_2O)_x\}$

(3) 水黑云母 (Hydrobiotite 1)

$$K_{1-x}(H_2O)_x\{(Mg, Fe^{3+})_3[AlSi_3O_{10}](OH)_{2-x}(H_2O)_x\}$$

本族矿物成分、结构与云母族矿物近似，可分为二八面体型和三八面体型。不同之处在于，双层之间的阳离子钾或钠部分为水分子代替，(OH) 亦能被水分子代替，故水云母族矿物含有更多的水，并在受热时极易失去，这些矿物具有可变成分，并具有混层结构 (I/S)，与云母一样存在着1M、1Md、3H 多型。据前人研究「，本区水云母为水白云母。本次研究表明本区水云母实际为不纯的水白云母，其中以 I/S 混层矿物者居多。

2.2 伊利石/蒙皂石混层矿物

伊利石/蒙皂石混层矿物 (illite/smectite mixed-layer minerals，简称 I/S 混层矿物，下同) 是自然界中最常见的粘土矿物之一。I/S 混层矿物属于 2: 1 型粘土矿物，其矿物结构是由伊利石层 (I) 与蒙皂石层 (S) 以不同比例水平或纵向堆垛而成，这种堆垛可能是无序的、也可能是短程有序的[2]。

Jagodzinsky (1949)[2]定义 Reichweite (R) 来表征 I/S 混层矿物的有序度。林西生 (1990)[2]给出 R 值、蒙皂石层在 I/S 混层矿物结构层中的百分比 (S%) 和混层矿物结构之间存在下述关系 (表1):

I/S 混层矿物与成矿作用有关的最重要物理性质是吸附性。在 I/S 混层矿物中，蒙皂石层起主要吸附作用，表征参数为蒙皂石层 (S) 在 I/S 混层矿物结构层中的百分比 (S%)。故 S% 之高低反映出 I/S 矿物吸附性大小。I/S 混层矿物在不同的地质环境中混层比是不同的，在特定的地质条件下蒙皂石向伊利石转化[9]。

表 1 R 值、蒙皂石层百分比 (S%) 和混层矿物结构之间关系

Table 1. R values and percentage of smectite layers in relation to structures of mixed-layer minerals

R_0	$S \geqslant 50\%$	无序
R_0/R_1	$35\% < S < 50\%$	部分有序
R_1	$15\% < S < 35\%$	有序
$R \geqslant 3$	$S < 15\%$	ISII 超点阵

2.3 相山矿田若干典型矿床蚀变岩石及矿

核工业 270 所等，1986，赣杭构造带火山岩成矿带铀成矿规律及成矿预测，核工业 270 所，内部报告

「 王思龙、张学权，1980，相山矿田的热液水云母化蚀度及其在铀成矿中的作用，核工业北京地质研究院，内部报告

石中粘土矿物定量分析

对相山矿田范围内典型矿床粘土矿物进行了 X 射线衍射定量分析, 结果见表 2、图 1。

表 2　相山矿田若干典型矿床蚀变岩石及矿石中粘土定量分析 (%)

Table 2.　Analyses of clay in altered rocks and ores from some typical ore deposits in the Xiangshang orefield

样号	采样地点	铀含量	I	S	C	I/S	S/%①	R 值②
ZL-33	6122 矿床蚀变岩	0.026	4		12	84	25	R_1
ZL-16	6122 矿床矿石	0.0455			16	84	5	$R \geqslant 3$
302-4	6122 矿床矿石	0.210			11	89	5	$R \geqslant 3$
135-3	613 矿床蚀变岩	0.02128			37	63	35/5	$R_1/R \geqslant 3$
135-4	613 矿床矿石	0.849			3	97	5	$R \geqslant 3$
B-3-3	617 矿床蚀变岩	0.00162			24	76	35/5	$R_1/R \geqslant 3$
B-3-0	617 矿床矿石	0.0452	11		18	71	10	$R \geqslant 3$
Y-2	628 矿床蚀变岩	0.03255	10	10	80			
Y-3	628 矿床矿石	0.392	9	8	83			

注: 测试单位为石油勘探开发科学研究院实验中心, 测试者: 郑乃萱、林西生; I— 伊利石; S— 蒙皂石; I/S— 伊利石、蒙皂石混层矿物; C— 绿泥石; ①S%: 混层矿物中蒙皂石结构层所占比例; ②R 值 由 S% 比值依表 1 所列关系确定

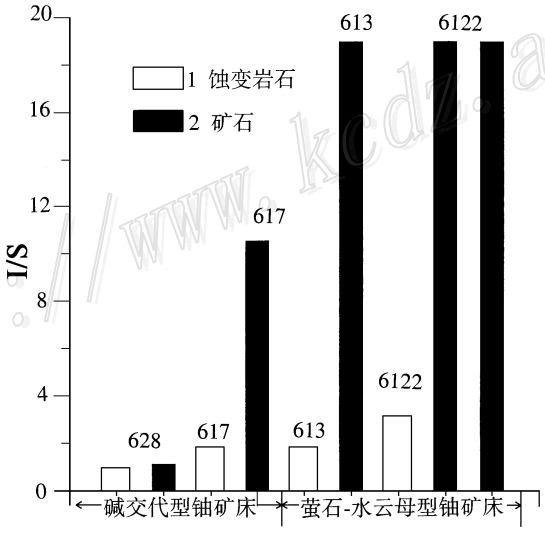

图 1　相山矿田典型矿床蚀变岩石和矿石粘土矿物中伊利石与蒙皂石比值柱状图

I/S— 粘土中伊利石结构层与蒙皂石结构层二者层数比; 628、617、613、6122— 矿床代号; 6122 有 2 个矿石样品

Fig. 1.　Diagram showing ratios of illite layers to smectite layers in clay minerals from altered rocks and ores of typical ore deposits in the Xiangshan orefield.

I/S— Ratio of illite layers to smectite layers in clay; 628, 617, 613, 6122— Code name of ore deposit. There are two ore samples for 6122 deposit.

http://www.kcdz.ac.cn/

从上图中可以得到两点认识: 就同一矿床而言, 从蚀变岩石到矿石, 粘土矿物组成中伊利石含量是增加的; 就两种不同的矿化类型而言, 萤石-水云母型矿床矿石中伊利石含量高于碱交代型矿床矿石中伊利石含量, 蚀变岩石也是如此。本区富矿形成经历了早期碱交代作用

(约 120× 10^6 a) 和晚期萤石-水云母作用 (约 100× 10^6 a), 由此可以看出, 伴随着 U 的富集过程, 存在蒙皂石→ 伊利石、蒙皂石混层矿物→ 伊利石的转化过程。

2.4 相山矿田典型矿床中水云母成分分析

对相山矿田典型矿床中水云母作了电子探针成分分析 (表 3):

表 3 相山矿田水云母电子探针成分分析 (%)

Table 3. Electron microprobe analyses of hydromica from the Xiangshan orefield

样号	矿床	岩性	矿物	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	MnO	FeO①	总量
B-3-3	617	蚀变岩	I/S	0.04	1.57	31.57	53.81		5.29	0.22	0.05	2.55	95.10
B-3-3	617	蚀变岩	I/S	1.40	1.06	27.80	52.49		7.23	0.11		1.98	92.07
B-3-0	617	矿石	I/S	0.17	1.15	30.26	48.26		7.50	-		5.63	92.97
B-3-0	617	矿石	伊利石	0.52	0.75	29.90	50.11		8.14	-		2.19	91.61
Y-2	628	蚀变岩	I/S	1.86	1.05	27.36	54.02		6.10	2.33	0.03	0.98	93.73
Y-3	628	矿石	I/S	2.81	1.10	25.75	55.37		6.45	1.47	0.04	1.62	94.61
135-3	613	蚀变岩	白云母	-	1.19	33.53	50.97		9.26	0.10		0.93	96.98
135-3	613	蚀变岩	伊利石	0.44	0.48	31.75	49.06		8.00	0.10		1.22	91.05
135-4	613	矿石	白云母	-	-	35.60	47.89		9.63	0.21		0.59	93.92
135-4	613	矿石	伊利石	-	-	36.35	50.96		8.43	0.23		1.04	97.01
302-4	6122	矿石	I/S	0.46	1.20	20.12	46.35	1.59	5.26	1.71	0.93	3.78	81.40
302-4	6122	矿石	I/S	2.12	0.93	15.73	47.10	9.32	3.17	6.58		2.46	87.41
ZI-16	6122	矿石	白云母	0.75	0.21	24.78	49.40	0.43	9.09	0.92		2.28	87.86
ZL-33	6122	蚀变岩	伊利石	0.54	0.42	22.93	49.28	0.27	8.71	0.57		2.26	84.97
ZL-33	6122	蚀变岩	I/S	0.80	0.73	25.19	50.89	0.61	6.36	0.82		2.51	87.91
ZL-33	6122	蚀变岩	I/S	0.91	0.82	25.76	51.07	0.64	6.10	0.79		2.46	88.55
ZL-33	6122	蚀变岩	I/S	0.81	0.60	21.40	50.35	0.47	4.89	0.44		1.64	80.60

注: 测试单位及测试者: 核工业北京地质研究院分析测试中心范光和石油勘探开发科学研究院实验中心何锦发; ①该数据为铁的氧化物总含量

化学分析表明: ① 随着矿石逐渐变富, 矿石中 K、Al 增加, 而 Na、Ca、Mg 的含量降低, 这与蒙皂石→ 伊利石、蒙皂石混层矿物→ 伊利石演化趋势吻合; ② 本区铀成矿作用早期为钠交代, 晚期为钾交代, 蒙皂石→ 伊利石、蒙皂石混层矿物→ 伊利石与铀成矿特征一致。

3 结 论

(1) 相山矿田铀成矿作用过程中粘土矿物存在 S→ I/S→ I 的演化过程, 即粘土矿物伊利石化是铀矿富集的有利因素: 相山矿田的成矿热液演化经历了早期的碱交代阶段和后期的萤石-水云母阶段, 与此相联系, 粘土矿物中蒙皂石逐步向 I/S 混层矿物演化, 即蒙皂石矿物结构层中部分被伊利石层所代替, 而且随着矿体的逐渐变富, 混层矿物结构层中伊利石层显著增加, 直至演变为伊利石矿物种。电子探针的分析结果与 X 射线衍射分析的结果吻合很好, 共同证明了上述演化的存在。这一结论还得到如下一些研究成果的证实: ①没有 Na 的情况下有利于蒙皂石→ 伊利石转变, 且存在下述反应: $S+Al^{+}+K^{+}=I+Si^{4+}$ [3]; ②混层矿物之膨胀层 (蒙皂石), 能通过离子交换吸收周围环境中 K^{+}, 并逐渐向白云母晶质转化[4]; ③实验表明,

http://www.kcdz.ac.cn/

热液中高浓度 K^+ 和 Al^{3+} 是形成水云母之有利条件[5]; ④J J Hem ley(1972) 实验做出 105 MPa 下 K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O 体系的平衡反应曲线证明: 温度降低, K^+ 浓度增加, 有利于水云母化[5]; ⑤在热液体系中存在蒙皂石向伊利石的转化[10]。

但需要说明的是, 自然界发生的演化过程是极其复杂的, 同时也是非均匀的。即在成矿期岩石中也发现有 *R* 值较小的 I/S 混层矿物存在, 这说明不同演化程度的粘土矿物可能共生。国外一些研究者的工作也证明这一现象的存在[11], 但总体的演化趋势是明朗的。

对于 S→ I/S→ I 演化过程的进一步深入研究, 还可得到另外一些新认识: ① 蒙皂石在特定的有利地质条件下向伊利石的转化过程在本区是一个动态的平衡过程: 目前获得的有利于蒙皂石存在的物化条件为: 富 Na、Ca、Mg 而贫 K 的热液环境, 适当的温度、压力条件和 pH 值等; 而有利于伊利石生成和稳定存在的环境为: 富 K 而贫 Na、Ca、Mg 的热液环境, 适当的温度和压力条件和 pH 值等。在相山矿田范围内很少有蒙皂石转变为最终产物—— 伊利石, 而大多数停留在 I/S 混层矿物这一阶段 (尽管在某些地段采得样品中 I/S 中 I 层占 90% 以上), 这其中的原因有如下几个方面: A. 本区水云母主要来自热液蚀变作用, 其中一种途径就是由斜长石直接蚀变成水云母, 在此过程中会使热液体系的碱度增加[6], 而碱性环境有利于蒙皂石的生成。其它生成水云母的过程也有类似的效应发生。B. 影响 S→ I/S→ I 转化的因素是多方面的, 这其中包括温度、压力、pH 值、离子浓度 、层间阳离子的活性 (尤其是 K)、水岩比、时间、热流量等等[12]. 上述因素有时在特定的地质环境中并非起一致的作用, 有时甚至是互相抵触的。例如有研究证实: 在成岩过程中 I/S 中 I 层的比例随温度升高而增加[11], 但就本区域而言, 碱交代阶段热液温度高 (300 ℃ 左右), 而萤石-水云母阶段热液温度低 (115 ℃ 左右); 前者 Ca^{2+} 和 Na^+ 浓度高而贫 K^+, 后者正好相反。这样温度因素和离子浓度对于 S→ I/S→ I 转化所起作用正好相反。两种因素相比较而言, 本文认为离子浓度作用更重要。② 矿田范围内 S→ I/S→ I 的演化是多层次的: 从总体上讲, 上述演化在本区的存在是毋庸置疑的; 而就某一具体的热液蚀变阶段而言, 如碱交代阶段或萤石-水云母阶段, 都可能存在 S→ I/S→ I 或反向演化 (I→ S)。造成这一现象的原因是: I/S 混层矿物实际上处于亚稳态[12], 因而在不同的地质背景或热液演化的不同阶段, I、S 及 I/S 之间相互转化的特征不尽相同。③ 从 S→ I/S→ I 过程可以看出钾交代和钠交代作用交替进行的规律以及钾、钠不相容原理的体现, 这与在本区范围对矿化作用的地球化学研究结果相一致: 蒙皂石生成和稳定存在富 Na、Ca、Mg 的环境、伊利石存在于富 K 的环境, 这样不难从 S→ I/S→ I 过程可以看出钠交代和钾交代作用交替进行的规律以及 K、Na 不相容原理[7]在相山火山热液型铀成矿过程中的体现。

(2) 相山矿田范围内蒙皂石向伊利石的演化过程是一个动态的平衡过程, 且这一演化主体停留在 I/S 混层矿物阶段的事实很好地解释了相山矿田中铀矿床类型以群脉型矿床为主的特征: 粘土矿物演化的不平衡进程对铀成矿起重要作用, 如法国中央高原, 由于粘土矿物很不平衡, 因此铀沉淀速率很快, 故有利于形成大脉型铀矿床; 而相山矿田粘土矿物之演化不平衡程度要低许多, 因而决定了铀沉淀速率不可能很快, 不利于 U 元素巨量快速沉淀和富集形成大脉型和主脉型铀矿床。当然, 决定矿体规模的因素还很多, 如裂隙发育程度及规模以及 U 元素富集程度等等, 不过粘土矿物的上述演化过程可作为判断铀矿体存在及规模的重要标志。

(3) 蚀变岩石中高 *S* (%) 的粘土矿物为后期形成富大铀矿起了富集 U 的作用: 从前面

的研究中可以看出: 碱交代阶段混层矿物中蒙皂石含量高于萤石-水云母阶段混层矿物中蒙皂石含量; 就同一热液阶段而言, 蒙皂石含量依照原岩、蚀变岩石、矿石顺序而递减, 镜下和电子探针分析表明混层粘土可以吸附一定量的U, 裂变径迹研究也证明了这点。

这样可以得出如下认识: 早期蚀变岩石中高S (%) 的粘土矿物会吸附较多的U, 形成铀的初步富集, 后期的富K 热液的作用使得早期I/S 混层矿物中吸附性高的蒙皂石逐步转化为吸附性低的伊利石, 从而使原来吸附的U 被释放出来, 这部分铀被后期的成矿作用夺取用于进一步形成富铀矿体。这样, 从整个成矿过程看, 早期蚀变岩石中高S (%) 的粘土矿物就为后期形成富大铀矿起了富集U 的作用。这种富集作用尽管不能直接形成富铀矿床, 但对于富矿形成却是至关重要的前提。这一点还可以从所有火山岩型铀矿床必须具备水云母化前期蚀变的普遍规律中得到验证。

参 考 文 献

1 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝等. 系统矿物学 (中) [S]. 北京: 地质出版社, 1982, 458~ 460.

2 林西生, 应凤详, 郑乃萱. X 射线衍射分析技术及其地质应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990, 32~ 68.

3 张立豫. 矿物地质及应用 [M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1987, 96~ 115.

4 张乃娴, 李幼琴, 赵惠明等. 黏土矿物学研究方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1990, 34~ 42.

5 章邦桐主编. 内生铀矿床及其研究方法 [M]. 北京: 原子能出版社, 1990, 232~ 234.

6 蔡根庆. 根据某些铀矿床矿化特征讨论矿床形成条件 [J]. 放射性地质, 1982, (3): 222~ 227.

7 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1996, 140~ 156.

8 Jagodzinsky H. Eindimensionale Fehlordnung in Kristallen und ihr Einflu auf die R ntgeninterferenzen. I. Berechnung des fehlordnungsgrades aus den R ntgenintensit ten [J]. Acta Crystallogr: 1949, 2: 201~ 207.

9 Meunier A, Velde B. Solid solution in I/S mixed-layed minerals and illite [J]. Am Mineral: 1989, 74: 1106~ 1112.

10 Inoue A, Velde B, Meunier A et al. Machanism of illite formation during smectite-to-illite coversion in a hydrothermal system [J]. Am Mineral. 1988, 73: 1325~ 1334.

11 Horton D G. Mixed-layed illite/smectite as a paleotemperature indicator in the Amethyst vein system, Creede distict, Colorado, USA [J]. Contrib Mineral Petrol.: 1985, 91: 171~ 179.

12 Li G, Peacor D R, Coombs D S. Transition of smectite to illite in bentonite and associated sediments from Kak Point, New Zealand: contrast in rate and mechanism [J]. Clays Clay Miner: 1997, 45: 54~ 67.

http://www.kcdz.ac.cn/

RELATIONSHIP BETWEEN HYDROMICATIZATION AND URANIUM MINERALIZATION IN THE XIANGSHAN OREFIELD

Wen Zhijian[1,2], Du Letian[1] and Liu Zhengyi[1]

(1 *Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing* 100027;

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

Key words: Xiangshan uranium orefield, hydromicatization, I/S mixed-layer mineral, uranium mineralization

Abstract

The Xiangshan uranium orefield in Jiangxi Province is the largest volcanogenic hydrothermal uranium orefield in China. There are more than twenty uranium deposits in this area. Hydromicatization is the basic and important alteration in the Xiangshan orefield. X-ray diffraction quantitative identification of clay minerals shows that the transformation from smectite to illite accompanied the uranium mineralization, and illite/smectite mixed-layer minerals concentrated uranium for further uranium precipitation. The transformation process from smectite to I/S to illite is a dynamic equilibrium process. The termination of transformation from smectite to illite in I/S mixed-layer minerals accounts for the fact that the Xiangshan uranium orefield is characterized by vein deposits.

http://www.kcdz.ac.cn/