

325、326矿床钠交代与铀成矿的关系

沈 吉 刘道忠

(南京大学地球科学系)

内容提要: 325、326矿床是典型的钠交代型铀矿床。该矿与钠交代有着十分密切的关系,矿体几乎都在钠交代岩内。钠交代增大了花岗岩有效孔隙度,降低了抗压强度,成为同步构造活动的薄弱环节。钠交代形成的“海绵体”为铀的沉淀富集提供了极其有利的空间。钠交代促使原岩中铀的赋存状态发生改变,使铀发生活化转移。钠交代还为铀成矿提供了物质基础。

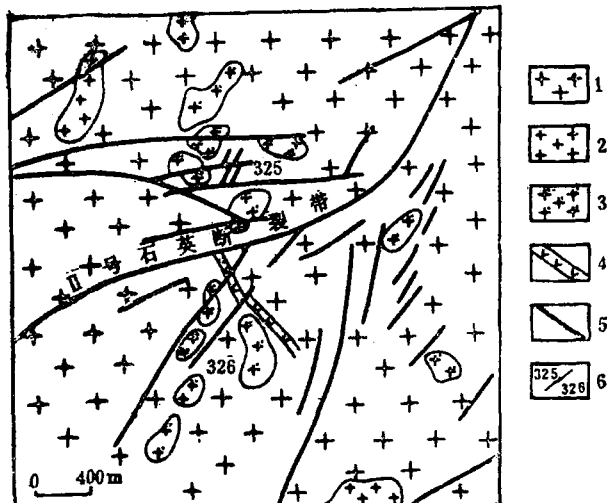
主题词: 钠交代 孔隙度 沉淀 活化转移

钠交代在许多矿床中都有发现,而花岗岩型铀矿床中的钠交代现象则更为普遍,长期以来,人们常把钠交代作为找矿的一项标志,但对于钠交代何以促使铀富集成矿却一直未能深入地加以探讨。笔者从325、326这两个典型钠交代铀矿床入手,从钠交代对岩石物理参数的影响,钠交代对铀赋存状态的改变,钠交代对铀的活化转移,钠交代成矿模拟实验等方面,对钠交代与铀成矿的关系作了较为深入的研究。

一、矿床地质概况

325、326矿床位于ZG复式花岗岩体中段的322矿田内,矿区内岩体面积12km²。岩体的岩性为中粗粒斑状黑云母花岗岩,其Rb-Sr同位素等时线年龄为198.8±3Ma^①,属印支期。该岩体形成以后,又有细粒黑云母花岗岩补体发育,分布于岩体的部分地区(图1)。

图1 325、326矿床地质示意图
(据中南地勘局302大队1981年资料改编)
1—中粗粒斑状黑云母花岗岩; 2—细粒黑云母花岗岩; 3—钠交代岩体; 4—基性岩脉; 5—构造断裂; 6—矿床
Fig. 1. Schematic geological map of No. 325 and No. 326 ore deposits.
1—Medium to coarse-grained porphyritic biotite granite; 2—Fine-grained biotite granite; 3—Soda metasomatic rock body; 4—Basic vein; 5—Structural fracture; 6—Ore deposit.



① 南京大学现代分析中心, 笔者

两矿床受Ⅱ号石英硅化断裂带控制。Ⅱ号石英硅化断裂带倾向南东, 倾角 50° — 80° , 为一顺时针向错动的斜平移断层, 早期以压扭为主, 晚期以张扭为主。

矿床内分布着许多钠交代岩体, 据中南地勘局302大队研究, 钠交代体的形成年龄为98 Ma。其特征为石英减少(甚至无石英), 岩石变红, 矿物颗粒粗大(有时甚至为单钠长石岩)。它们常控制了矿床内矿体的分布。

二、钠交代岩体的空间展布及其与矿体分布的关系

矿床内, 矿体几乎都产于钠交代岩内, 铀矿化与钠长石交代岩有密切的关系, 钠交代岩本身往往就是矿石, 因而研究钠交代岩与矿体的空间分布特征对寻找铀矿体具有十分重要的意义。

野外观察发现, 钠交代岩体成群分布, 单个钠交代岩体从长几百米、宽几十米到长十几厘米、宽仅几厘米。其长轴总体呈北东向, 与构造方向一致。钠交代岩体的边界一般与花岗岩呈渐变过渡关系, 从内向外, 依次为强钠交代岩—钠交代岩—钠交代花岗岩—花岗岩。钠交代岩体受断裂构造控制很明显, 断裂构造发育部位常常也是钠交代岩体成群出现的部位, 并且钠交代岩体的产状与断裂构造基本一致。

在Ⅱ号石英硅化断裂带的上盘326矿床内, 发育了许多次一级的断裂构造, 这些断裂构造总体可分为二组, 一组与Ⅱ号带平行, 走向 50° — 60° , 另一组走向 20° — 30° 。在这些断裂构造中共找到了126个钠交代岩体, 并且发现许多较大的钠交代岩体位于二组断裂的交叉部位, 这些交叉部位岩石破碎很强烈, 蚀变发育, 除强烈的钠长石化外, 还发育绿泥石化, 碳酸盐化和微弱的萤石化, 赤铁矿化。并且这些部位常常是铀矿体赋存的部位。

从矿体分布看, 铀矿体同钠交代岩体一样, 主要分布在树枝状次级断裂构造中。铀矿体与钠交代岩体的分布常是复合的, 平面上显示成群集中。矿体的标高为100—400m, 位于钠交代岩体的标高范围内(20—500m)。矿体形态多为脉状, 透镜状或团块状, 走向长度一般大于倾向延伸。

需要指出, 并非所有钠交代岩体都有矿, 我们统计了326矿床56个钻孔20400m岩心, 发现钠交代岩为3346m, 占岩心总长度16.4%, 而钠交代岩中含矿的岩心长度仅为381m, 占钠交代岩的11.4%, 可见铀成矿虽与钠交代岩关系密切, 但还受许多其它因素的控制。

另外, 钠交代岩体的发育程度, 规模大小还受到岩性的影响, 脆性的粗粒斑状黑云母花岗岩易产生裂隙, 孔隙度大, 最易于钠长石化, 其次是细粒的黑云母花岗岩, 因此钠长石交代岩沿岩性界面延伸, 往往发育于粗粒斑状黑云母花岗岩一侧, 而细粒致密的黑云母花岗岩一侧较窄, 且常有较多的残留体。

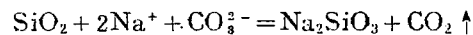
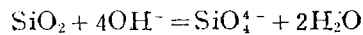
三、钠交代岩的特征及其与铀矿石的关系

(一) 钠交代岩的岩石特征

矿床内钠交代岩矿物组成上的最大特点是原岩矿物大多消失, 代之以红色的钠长石, 含量可达70%以上, 甚至形成单矿物岩。镜下观察, 钠长石以两种形式出现: 第一种是棋盘格

子状钠长石(图版Ⅲ-1),一小片一小片钠长石假象交代了原岩中的各种矿物,这些钠长石小片在正交偏光下,形成上下左右黑白相间的小方块;第二种是细小颗粒状的钠长石(图版Ⅲ-2),这种钠长石一般形成较晚,晶形规则,矿物表面干净,它对矿物进行交代时,具有纯化作用。交代形成的钠长石其晶体大小,取决于被交代岩石矿物颗粒的大小和结构,原岩中矿物颗粒大,生成的钠长石晶体颗粒就大。这是因为钠交代中,钠长石主要交代了原岩中的斜长石、钾长石,它们都是长石类,同属架状硅酸盐结构,交代过程中,只是 Na^+ 与 K^+ 、 Ca^{2+} 交替, Si^{4+} 与 Al^{3+} 互换,无需改变矿物的结构。

矿床内钠交代岩破碎非常强烈,含矿钠交代岩更是如此。我们对几种钠交代岩进行了有效孔隙度和抗压强度的测定(表1),得知随着钠交代程度的增强,从花岗岩—钠交代花岗岩—钠交代岩—强钠交代岩,其孔隙度逐步增大而抗压强度逐步降低。其中强钠交代岩的孔隙度和抗压强度分别比花岗岩增大了47%和降低了58%。钠交代使岩石孔隙度增大的原因可以从二方面分析:其一,钠交代过程中离子半径较大的钾离子($1.33 \text{ \AA}$)被较小的钠离子($0.98 \text{ \AA}$)置换,使得长石晶胞体积缩小了7.9%(正长石的单位晶胞体积为 $719.54 \text{ \AA}^3$,钠长石的单位晶胞体积为 $662.104 \text{ \AA}^3$),这就是等容交代后发生孔隙度变化的原因。其二,钠交代过程中,花岗岩内部分 SiO_2 转化为 SiO_4^{4-} ,或与碱金属结合形成可溶性硅酸盐带出:



结果产生大量微细空隙,导致钠交代岩孔隙度增高。

(二) 钠交代岩的化学成分特征

矿床内钠交代岩的化学分析(表2)表明,钠交代岩与花岗岩相比, SiO_2 含量显著降低,交代去硅作用十分强烈,硅碱发生明显分离; CaO 、 CO_2 增加,以方解石取代石英; Fe_2O_3 明显增加, FeO 明显减少,前者增量与后者减量基本相等,总铁几乎不变,表现了 $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ 这一转化过程; Na_2O 显著增高, K_2O 显著降低, Na_2O 的增量与 K_2O 的减量也基本相等,碱总量保持不变,表现了钠主要取代钾的置换过程。此外,钠交代岩的铀含量比花岗岩增加了1—2个数量级。

钠交代岩的微量元素成分(表3)与花岗岩相比,铁族元素变化不大,为原岩的78—111%;铜族元素有较明显的亏损,其中钠交代岩的铜为原岩的49%;稀有分散元素除Ga、Nb以外普遍增加,其中Be为原岩的158%。

(三) 钠交代岩与铀矿石的关系

矿床内矿物组成简单,强烈的钠交代岩往往就是矿石,铀矿物主要为沥青铀矿,呈微细脉状、星点状分布于矿石中。矿石类型为含矿钠长石岩,钠长石化花岗岩,绿泥石化钠长石岩。与沥青铀矿共生的金属矿物有黄铁矿、方铅矿、赤铁矿。黄铁矿有二种形态,晶粒状黄铁矿和胶状黄铁矿,前者与铀矿化关系不大,后者常与沥青铀矿同时形成。据前人研究,这种胶状黄铁矿是由于成矿溶液中U、Th放射性对其结晶影响所致。脉石矿物主要为绿泥石、方解石、钠长石和少量萤石、玉髓等,绿泥石在蚀变较弱的花岗岩及钠长石化花岗岩中主要交代黑云母,强烈蚀变的含铀钠长石矿石中,长石也常被其交代。镜下它一般呈细小鳞片状集合体。矿石中的方解石常变为红色,沥青铀矿沉淀在其解理缝之中。

矿床内钠交代岩具有特定的矿物共生组合,常见的矿物共生组合有下列三种:

表 1 各种钠交代岩的有效孔隙度和抗压强度

Table 1. Effective porosity and compressive strength of various soda-metasomatic rocks

岩石名称	样品数	有效孔隙度 (%)	抗压强度 (kg/cm ²)	岩石名称	样品数	有效孔隙度 (%)	抗压强度 (kg/cm ²)
粗粒斑状黑云母花岗岩	4	1.22	1360	钠交代岩	2	1.76	1080
钠交代花岗岩	2	1.48	1210	强钠交代岩	4	2.32	860

样品由南京第三建筑公司实验室测试

表 2 各种钠交代岩石化学成分表(%)

Table 2. Chemical composition of various soda-metasomatic rocks (in percentage)

岩性	样品数	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO
粗粒斑状黑云母花岗岩	6	70.28	0.41	2.58	14.21	0.412	0.036	1.870
钠交代花岗岩	2	65.86	0.58	1.06	15.76	0.30	0.020	2.00
钠交代岩	2	57.30	2.29	0.63	16.74	0.31	0.050	4.86
强钠交代岩	4	45.07	2.74	0.86	12.66	0.95	0.038	14.42
岩性	样品数	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	U	
粗粒斑状黑云母花岗岩	6	0.95	0.106	3.85	3.73	微	0.0012	
钠交代花岗岩	2	0.68	1.36	0.07	9.24	1.88	0.015	
钠交代岩	2	0.55	1.051	0.15	8.91	3.70	0.180	
强钠交代岩	4	1.04	10.23	0.17	6.48	9.60	0.342	

样品由中南地勘局302大队测试

表 3 各种钠交代岩主要微量元素成分表(ppm)

Table 3. Principal minor element contents of various soda-metasomatic rocks (in ppm)

岩性	样品数	铁族元素						铜族元素		
		Cu	Ni	Cr	Ti	V	Mn	Cu	Pb	Zn
粗粒斑状黑云母花岗岩	4	2.93	7.26	80.96	1098.72	24.01	341.41	10.24	56.40	43.02
钠交代花岗岩	2	2.64	6.28	88.61	1077.61	21.75	312.82	6.76	46.52	39.86
钠交代岩	3	2.53	5.69	89.76	1076.77	21.67	300.43	5.05	38.74	31.07
岩性	样品数	稀有分散元素								
		Be	Li	Ga	Sr	Ba	Nb	La	Ce	Y
粗粒斑状黑云母花岗岩	4	14.28	56.81	21.41	40.14	159.56	17.69	28.83	49.05	17.67
钠交代花岗岩	2	21.46	69.12	19.42	42.67	166.54	16.98	30.64	51.23	18.05
钠交代岩	3	22.52	68.24	19.20	44.83	169.77	17.27	31.46	51.11	17.78

样品由南京大学地质系中心实验室测试

(1) 钠长石-黄铁矿-绿泥石-碳酸盐; (2) 钠长石-碳酸盐-绿泥石-萤石; (3) 钠长石-绿泥石-碳酸盐-玉髓。其中钠长石、碳酸盐、绿泥石这三种矿物是矿床内钠交代岩必不可少的, 这种固定的矿物共生组合形式是本矿床钠交代岩的一个重要特征。

四、铀成矿中钠交代的实验研究

为了进一步了解钠交代在铀成矿过程中的作用, 揭示钠交代与铀成矿的关系, 我们模拟本矿床钠交代成矿过程, 对其进行实验研究。

实验在冷封自紧式高压釜内进行, 高压釜工作容积为20ml, 实验时的温度由热电偶测定, 用WZK型可控硅温度控制仪控制, 压力则根据给定温度下按高压釜的充填度计算。每次实验将200目的花岗岩粉末200mg, 硝酸铀酰50mg以及实验试液一起放入铜管内, 然后将铜管放入高压釜内, 密封后加热。根据对矿区钠交代岩形成的物理化学条件的研究, 温度选择为400℃和450℃, 压力为60—80MPa, 实验时间为200h, 实验试液采用0.5当量浓度的碳酸钠溶液, 实验具体情况见表4。

表4 钠交代模拟实验一览表

Table 4. Simulation experiments of soda-metasomatism

实验号	实验试样		实验试液		实验条件		
	岩石名称	硝酸铀酰 (mg)	浓度, 成分	体积 (ml)	温度 (°C)	压力 MPa	时间 (h)
No.1	中粗粒	20	0.5N, Na ₂ CO ₃	0.558	400	60	200
No.2	斑状黑	20	0.5N, Na ₂ CO ₃	0.616	400	70	200
No.3	云母花	20	0.5N, Na ₂ CO ₃	0.684	400	80	200
No.4	岗岩	20	0.5N, Na ₂ CO ₃	0.476	450	60	200
No.5		20	0.5N, Na ₂ CO ₃	0.512	450	70	200
No.6		20	0.5N, Na ₂ CO ₃	0.588	450	80	200

实验后发现管壁上覆盖一层黑色沉淀物, 管底见有SiO₂凝胶和细小的钠长石颗粒, 该黑色沉淀用盐酸溶解后为绿色溶液, 加入双氧水后溶液变为米黄色, 可见是低价铀的化合物, 电子探针分析结果表明为沥青铀矿(UO₂)。据分析, 产生铀的沉淀是由于碳酸钠溶液对花岗岩进行交代时, 花岗岩中黑云母、角闪石等暗色矿物被钠长石交代, 其中所含的铁锰等低价元素从矿物中转入溶液, 和铀酰离子发生氧化还原反应, 铀从高价变为低价沉淀下来的。

五、钠交代对铀的富集成矿作用

(一) 钠交代对岩石物理性质的影响

前已述及, 钠交代的一个重要特点是等容性, 即交代后的岩石体积不变, 但孔隙度增大。钠交代所引起岩石孔隙度的剧烈增加一般以微裂隙的形式表现出来, 这种钠交代后的岩石比表面积将极大地增加, 它象“海绵体”一样, 为铀矿物的沉淀提供了极其有利的空间。其次, 钠交代形成的海绵体其物理机械性能显然变得脆弱, 抗压、抗剪强度变小, 成为构造活动的薄弱环节, 从而又为成矿期构造叠加提供了合适的场所。正如我们野外经常所见, 岩石碎裂

最强处常常是钠交代最发育处,同时也是铀富集成矿部位。

(二) 钠交代促使铀活化转移

众所周知,铀在岩体内富集成矿,不仅与岩体含铀量有关,而且还取决于铀在岩体内的赋存状态,为进一步揭示铀在钠交代岩内赋存状态的改变,笔者用钠交代岩铀的浸出率与原花岗岩铀的浸出率的比值 ka 。

$$ka = \frac{\text{钠交代岩的铀浸出率}}{\text{原花岗岩的铀浸出率}}$$

表示钠交代岩中铀的活化程度, $ka > 1$ 表示钠交代岩的铀浸出率增高, ka 值越大,则铀活化程度也越高。由表5可见,浸出试验一致得出 ka 大于1的结果,这意味着钠交代在一定程度上改变了铀的赋存状态,使部分固定铀转化为活动铀,从而提高了铀的浸出率。

表5 各种钠交代岩石铀浸出率

Table 5. Uranium extractability of various soda-metasomatic rocks

岩石名称	样品数	铀浸出率(%)	铀活化系数(ka)
粗粒斑状黑云母花岗岩	4	14.86	1.00
钠交代花岗岩	3	18.32	1.23
钠交代岩	4	25.64	1.73
强钠交代岩	3	44.72	3.01

样品由笔者在南京大学铀矿实验室测试

据胡受奚(1977)研究,钠质交代过程中,许多稀有元素的载体,如黑云母、角闪石、斜长石和副矿物,被杂质元素含量小的“清洁矿物”钠长石交代,是使稀有元素(以及其它成矿元素)发生活化转移的重要因素之一。上述事实证明,这一结论对于铀元素也完全适合。

(三) 钠交代的地球化学演化过程

钠交代是本矿床最为典型的特征,它形成的钠交代岩体分布范围广,肉眼可辨认(岩石变红,少石英或无石英),受断裂构造控制明显。同时钠交代岩的铀含量比原岩增高。因此,钠交代作为区域的重要找矿标志,早已被人们所重视。

据有关资料^①,成矿热液最初是铀酰碳酸钠溶液,它一方面从围岩中不断获得大量的活性铀,另一方面它又是铀的稳定载体,这种溶液在高压下沿构造带向上迁移,向两侧渗透,在适当的环境下(如构造断裂处、裂隙处、岩性破碎处等),压力降低, CO_2 逸出,与围岩(花岗岩)发生钠交代,使围岩中的各种矿物均遭受破坏,石英被溶蚀,斜长石中的 Ca^{2+} 和钾长石中的 K^+ 为 Na^+ 所取代而形成钠长石,被交代的石英部分参与了钠长石的组分,部分以 SiO_2 的形式被带走,或形成玉髓等,被置换的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 CO_3^{2-} 结合成碳酸盐矿物,黑云母等蚀变为绿泥石。在此过程中,铀载体的平衡遭到破坏,从而造成铀的沉淀。钠交代作为铀成矿的第一阶段,使岩石中分散状态的铀初次相对富集起来,为尔后的成矿奠定了物质基础。到了成矿的第二阶段(主要成矿阶段)是以钠交代岩的构造破碎为先导,伴随有成矿热液的强烈活动,并叠加在初次的钠交代岩上,这时只有轻微的钠交代现象,表现为糖粒状钠

① 据沈吉1998年硕士研究生论文

长石脉形式, 钠交代接近尾声。在这个阶段, 富铀的矿液沿构造系统 (包括钠交代海绵体) 运移, 渗透, 铀酰化合物 (碳酸铀酰和少量的氯化铀酰, 硫酸铀酰等) 被钠长石、绿泥石、玉髓、方解石、赤铁矿等吸附, 并与其发生氧化还原反应, 以沥青铀矿的形式沉淀下来。

综上所述不难看出, 铀矿化与钠交代岩石紧密伴生是由二者的内在联系所决定的, 因为钠交代的结果不但为铀成矿奠定了物质基础, 而且为铀矿物的沉淀富集提供了良好的空间。

本文是在张祖还教授、章邦桐副教授指导下完成的, 野外工作中得到中南地勘局高级工程师王朝楣、张步高、李万亮的大力支持, 笔者在此致以深切的谢意。

参 考 文 献

- (1) 胡受奚等 1977 花岗岩和中基性岩类有关的热液矿床成矿机制和模式 地质出版社

THE RELATIONSHIP BETWEEN SODA METASOMATISM AND URANIUM MINERALIZATION IN No.325 AND No.326 ORE DEPOSITS

Shen Ji and Liu Daozhong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

The No. 325 and No. 326 uranium deposits are typical soda metasomatic ones. Studies show that there exists close relationship between soda metasomatism and uranium mineralization; orebodies almost all occur within soda metasomatite bodies, and the distribution of soda metasomatite bodies is consistent with that of orebodies. The soda metasomatite bodies are restricted to fracture structures, and lots of large soda metasomatite bodies lie at the intersection between two groups of fault structures. In addition, the development extent of soda metasomatite is governed by characteristics of rocks.

Within the ore deposits the soda metasomatite shows the mineralogical character that the original minerals have mostly disappeared as a result of replacement and on their place is now red albite. The red albite can reach over 70% in content and even form pure albitite. Observation under microscope shows that albite exists mainly in two forms; one looks like chessboard and the other (formed rather later) is fine-grained. The soda metasomatite has been strongly crushed and its SiO_2 evidently increases whereas Na_2O and K_2O decrease as compared with the granite.

(下转接62页 to be continued on p. 62)

epimetamorphic rocks, late Paleozoic carbonaceous siliceous mudstone and Indo-Sinian granite.

Uranium mineralization in this ore deposit is mainly controlled by granite body and fracture structures; uranium mineralization is chiefly in the form of colloidal filling and possesses obvious poly-stage characters; the rock-forming temperatures are 130—200℃, belonging to mesothermal-epithermal type; uranium mineralization age is 60Ma, indicating a rather great time difference between the ore and the rock; this ore deposit has a quite close temporal-spatial and genetic connection with the microcrystalline quartz type uranium deposit in the granite body. All these phenomena suggest that this ore deposit possesses the common characteristics of the granite type uranium deposits.

The ore deposit also shows lots of its own features: the apparent difference in sulfur, oxygen and carbon isotope determinations between mineralization veins of the two stages suggests that their ore-forming substances came from the depth and the near-surface places respectively; uranium was extracted uninterruptedly through different means from different solid rocks with different depths; uranium mineralization belongs to acid siliceous stage and carbonate hydrothermal stage (corresponding to calcium deposition stage of granite type uranium deposits); the ore deposit is genetically of mixed hydrothermal type and is fundamentally different from the microcrystalline quartz type uranium deposit. This ore deposit, therefore, is of a special type in granite type uranium deposits.

× × × × × × × × × × × × × ×

(上接69页 continued from p. 69)

Soda metasomatism led to the growth of effective porosity of granite and reduced its compressive strength. As a result, weak places favorable for structural activities occurred. Soda metasomatism changed the mode of occurrence of uranium and caused its mobilization and transference. During soda metasomatism many uranium-carriers such as biotite amphibole were replaced by albite and this also accounts for the mobilization and transference of uranium. The sponge bodies formed as a result of soda metasomatism provided most favorable room for the precipitation of uranium, and soda metasomatism also supplied uranium mineralization with material basis.