

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

论热液蚀变与铀成矿富集作用的关系

章邦桐 吴俊奇 丘志力 刘义

(南京大学地球科学系)



本文通过对华南部分花岗岩型和火山岩型热液铀矿床中蚀变围岩物理-力学性质、铀浸出率及诱发裂变径迹的研究,阐明了热液蚀变对铀成矿富集的重要作用。热液蚀变能使岩石的抗压强度降低,有效孔隙度增高。矿前期蚀变作用可改变铀在含矿岩石中的赋存状态,使铀浸出率提高,为成矿热液提供部分铀源。一些蚀变围岩为铀沉淀富集提供了有利的地球化学环境。

围岩蚀变与热液铀矿床的关系十分密切。世界各地的热液铀矿床几乎毫无例外地都产于铀地球化学背景含量偏高、断裂构造多次活动、交代蚀变作用广泛发育的各种地质体中。笔者对华南花岗岩型和火山岩型铀矿床的研究表明,热液铀矿床均伴有矿前期和成矿期的各种蚀变作用,如钠长石化、水云母化、黄铁绢英岩化、红化(赤铁矿化)、硅化、绿泥石化及粘土化等。这些蚀变围岩分布的范围较铀矿体大,特别是成矿前期的钠长石化、水云母化和黄铁绢英岩化带的宽度常达数十米至数百米,成为良好的找矿标志。虽然并非所有热液蚀变带都含矿,但铀矿体一般均赋存于围岩蚀变带范围内,且常位于强烈蚀变部位。在华南许多热液铀矿床中,在几种(次)蚀变作用叠加部位普遍出现铀矿石品位变富和矿体规模增大的现象。

据我们研究分析,围岩蚀变对铀成矿作用的影响主要表现在蚀变围岩物理-力学性质和矿物组分的变化及其中部分铀活化转移等方面,并可造成一个有利于铀迁移富集的地球化学环境。

一、蚀变围岩物理-力学性质的变化为成矿溶液的运移和沉淀提供通道和空间

在围岩蚀变过程中,岩石的物理-力学性质相应地发生较明显的变化,有的蚀变岩石变得更加致密坚硬,如夕卡岩或角岩^①;有的则表现为岩石孔隙度增加和抗压强度明显降低。对蚀变围岩物理-力学性质所进行的研究确定,凡有效孔隙度增高,渗透能力增大而抗压强度降低的蚀变围岩,如水云母化、钠长石化、黄铁绢英岩化岩石对铀的成矿最为有利。

1. 钠长石化、水云母化、绿泥石化、高岭石化等蚀变作用可使围岩的有效孔隙度增高

决定岩石渗透性的主要因素是岩石的有效孔隙度和构造裂隙度。笔者采用真空饱和法,以煤油为浸注液对华南三个热液铀矿床含矿岩石和蚀变围岩的有效孔隙度进行了测定,其结果列于表1。从表1可见,326, 661和670矿床蚀变岩石的有效孔隙度较未蚀变的含矿岩石的有效孔隙度

① 通常认为角岩是泥质岩石的热变质产物,没有物质成分的带入或带出,但大量分析结果表明,铀在角岩化过程中明显带出,所以本文将角岩化也作为铀矿床的一种围岩蚀变加以讨论。

本文1989年4月收到,9月改回,季内容编辑。

表 1 华南部分热液铀矿床蚀变围岩有效孔隙度变化
Table 1 Variation in effective porosity of altered wall rock
from hydrothermal uranium deposits in South China

矿 床	岩 性	有效孔隙度 (%)	资 料 来 源
326	黑云母花岗岩	0.59	本 文
	钠长石化花岗岩	1.54	
	钠交代岩	2.04	
661	流纹岩 (中间相)	0.94	
	水云母化流纹岩 (顶部相)	1.84	
670	晶屑凝灰岩	1.58	
	水云母化红化晶屑凝灰岩	2.19	
68	新鲜黑云母花岗岩	0.82	北京铀矿地质研究所, 1978
	水云母化红化花岗岩	2.91	
6217	中粒二云母花岗岩	0.602	颜裕民 ^① 1984
	蚀变中粒二云母花岗岩	1.35	

① 颜裕民, 1985, 二六二岩体地质特征及对铀成矿控制作用。

明显增高, 其增高幅度分别为24.6% (326矿床钠交代岩), 98% (661矿床) 和39% (670矿床)。北京铀矿地质研究所和颜裕民的研究也得出类似的结果 (表 1)。

2. 一些蚀变作用使围岩的抗压强度明显降低, 或脆性增高

在热液蚀变过程中, 岩石中架状或链状硅酸盐矿物 (斜长石、钾长石、角闪石等) 转变为层状硅酸盐矿物 (水云母、高岭石、绿泥石等) 时矿物硬度变低、含水量增加 (水云母含 H_2O 达 4—5%; 高岭石达 6—7%; 蒙脱石达 10%), 致使蚀变围岩抗压强度明显降低。笔者对华南二个火山岩型热液铀矿床的含矿岩石和蚀变岩石的立方体 ($5 \times 5 \times 5 cm^3$) 样品进行了抗压强度 (单向) 的测定, 其结果列于表 2。从表 2 可见, 水云母化流纹岩的抗压强度较未蚀变原岩的降低 44%,

表 2 华南部分热液铀矿床蚀变围岩抗压强度变化
Table 2 Variation in compressive strength of altered wall rock
from hydrothermal uranium deposits in South China

矿 床	岩 石 名 称	抗压强度 (kg/cm^2)	资 料 来 源
661	流纹岩 (中间相)	2 923.2	本 文
	水云母化流纹岩 (顶部相)	1 620.4	
670	晶屑凝灰岩	1 009.1	本 文
	水云母化晶屑凝灰岩	841.1	
	强水云母化晶屑凝灰岩	668.8	
68	新鲜花岗岩	1 340	杜乐天 ⁽¹⁾ , 1982
	水云母化硅化碎斑岩	1 205	
	水云母化碎裂花岗岩	850	
6217	中粒二云母花岗岩	1 593.7	颜裕民, 1984
	弱蚀变中粒二云母花岗岩	1 500	
	蚀变碎裂岩	680	
	碱交代岩	925	

强水云母化晶屑凝灰岩的抗压强度降低38%，水云母化花岗岩的抗压强度降低37%，碱交代岩的抗压强度降低42%。

据研究，主要的硅酸盐造岩矿物的脆性按下列顺序增高：绿泥石、高岭石、滑石（强塑性）→黑云母、水云母、碳酸盐矿物（弱脆性）→角闪石→长石（脆性）→石英（极脆性）。因此角岩化、硅化、钠长石化等蚀变将使围岩的脆性明显增高，从而有利于构造裂隙的发育。

以上研究分析表明，钠长石化和水云母化等蚀变围岩在总孔隙度增高的基础上，抗压强度的降低或脆性增高将促使其在成矿构造活动过程中进一步发育密集的微细裂隙。这种微细裂隙使原有孔隙相互连通，从而导致蚀变岩石的有效孔隙度增大，渗透性增强，这不但为成矿溶液的运移创造了有利条件，而且保证了矿液与含矿岩石有较大的接触面积，并为矿质沉淀提供了空间。

二、交代蚀变作用改变原岩中铀的赋存状态，
铀活化系数 $K_n > 1$ 使蚀变岩石中活动铀比例增加

铀在花岗岩和火山岩中除少部分以显微或超显微粒状铀矿物形式产出外，一部分成类质同像赋存于放射性副矿物中；还有一部分呈分散状态存在于造岩矿物内部或其间隙、微裂隙和结晶构造的缺陷之中，甚至被吸附在晶体生长面上^[2]。在各种交代蚀变作用中，由成矿元素含量较高的矿物（如黑云母、角闪石、斜长石及各种副矿物等）转变为成矿元素含量较低的矿物（如白云母、水云母、钠长石、石英）的过程，以及矿物结晶时发生的“自结”作用都可以使铀和其它成矿元素从矿物中活化转移出来，然后，它们聚集在蚀变矿物周围或沿微裂隙分布，或被某些蚀变矿物（如水云母、绿泥石、白钛矿等）所吸附成为“活动铀”。活动铀是指岩石中可以在不破坏造岩矿物和副矿物条件下用稀酸（0.05—0.1mol HCl）浸出的那部分铀，为此，我们对HM岩体8411矿床和LB岩体6217矿床的含矿岩石和蚀变岩石进行了铀浸取试验，试验条件为：采用0.05mol HCl溶液为浸取液，恒温85℃，浸泡时间为4小时，样品粒度 $< 0.01\text{mm}$ ，然后分析渣样中的铀含量，计算出浸出率，其结果列于表3。国内外不少研究单位也都对蚀变岩石作过铀浸出试验。

表 3 正常和蚀变岩石的铀浸出率及活化系数（ K_h ）
Table 3 The proportion uranium leaching and mobilization coefficient (K_h)
from normal and altered rocks

岩 体	岩 性	铀浸出率（%）	活化系数（K _h ）	资料来源
HM	石英正长岩	21.6	1.49	本 文
	水云母化石英正长岩	32.2		
LB	中细粒黑云母花岗岩	26.7	1.54	本 文
	绿泥石化花岗岩	41.2		
HC	似斑状黑云母花岗岩	4.8	1.29	戎嘉树等 ^[2] 1984
	绿泥石-水云母化花岗岩	6.2		
JT	中粒斑状黑云母花岗岩	9.7	2.31	
	水云母绿泥石化花岗岩	22.4		
ZG	中粗粒黑云母花岗岩	0.9	1.67	姚莲英等 ^① 1981
	蚀变花岗岩	1.5		
WS	中粗粒二长花岗岩	4.8	1.15	
	蚀变花岗岩	5.5		

① 姚莲英，1981，华南燕山期花岗岩中的活动铀。

鉴于各单位进行浸出试验时采取的条件（包括浸取液的成分、浓度、浸泡的时间和温度等）不尽相同，所以浸出率的差别很大，难以相互对比。为消除因浸出条件差别而产生的影响。笔者提出用蚀变岩与原岩浸出率的比值：

$$K_h = \frac{\text{蚀变岩石的铀浸出率}}{\text{原岩的铀浸出率}}$$

表示蚀变岩石中活动铀变化的程度，并称之为活动系数。 $K_h > 1$ 表示蚀变围岩的铀浸出率增高， K_h 值越大，则铀的活化程度也越高。从表 3 可知，虽然各种蚀变岩石铀含量的高低往往因地而异，浸出率也因浸出条件不同而差异甚大，但其活化系数 K_h 均大于 1。这意味着交代蚀变作用在一定程度上改变了铀的赋存状态，使部分惰性铀转变为活动铀，从而提高了铀的浸出率，为成矿热液提供了部分铀源作了准备。

三、蚀变围岩可以为成矿热液提供部分铀源

当富含矿化剂(CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- 等)的热液渗透流经蚀变围岩时，其中主要以 UO_2^{2+} 形式存在的活动铀很容易与这些阴离子配合，形成稳定性强，溶解度高的各种铀酰络离子如碳酸合铀酰离子($\text{UO}_2(\text{CO}_3)_n^{2(1-n)}$)，硫酸合铀酰离子($\text{UO}_2(\text{SO}_4)_n^{2(1-n)}$) 及氟、氯合铀酰离子($\text{UO}_2(\text{F}, \text{Cl})_n^{2-n}$) 等转移进入溶液并迁移带出，从而为成矿溶液提供了部分铀源。对蚀变围岩中铀含量及铅同位素组成的研究可为这一地质过程提供可靠的地球化学证据。这是因为矿物和岩石中的铅有 4 个稳定同位素： ^{204}Pb ， ^{206}Pb ， ^{208}Pb 和 ^{207}Pb ，其中 ^{206}Pb 和 ^{207}Pb 分别是 ^{238}U 和 ^{235}U 放射性衰变的最终子体。所以，蚀变岩石中的 ^{206}Pb 和 ^{207}Pb 将随着岩石年龄的增长而逐渐积累。铅的地球化学性质不活泼，而现今岩石中 ^{238}U 和 ^{235}U 的同位素丰度分别为 $^{238}\text{U}=99.274\%$ ， $^{235}\text{U}=0.72\%$ 。因此，在不发生任何引起铅元素带入或带出的地质事件条件下，我们可以根据现今样品中 ^{206}Pb 的含量计算出岩石中的原始铀含量(U_1)。通过与现今蚀变岩石的实测铀含量(U_2)对比，便可了解蚀变岩石中铀带入或带出的情况。

笔者对华南6217矿床和322矿床钠长石化、白云母化和水云母化蚀变花岗岩的铅同位素组成进行了研究，根据岩体的同位素年龄及成矿年龄，按李耀松等提出的下列公式①，计算出岩石蚀变时的原始铀含量 (U_1) 和铀带入或带出的百分比 ($\Delta U\%$)，其铅同位素组成及计算结果列于表 4：

$$U_1 = \frac{\text{Pb} \times [^{206}\text{Pb}]^* \%}{99.274\% (e^{\lambda_{8t_1}} - e^{\lambda_{8t_2}})} \times \frac{M_U}{M_{\text{Pb}}} - \frac{U_2 (e^{\lambda_{8t_2}} - 1)}{e^{\lambda_{8t_1}} - e^{\lambda_{8t_2}}}$$

表 4 6217矿床和322矿床蚀变围岩铅同位素组成及铀得失计算结果
Table 4 The lead isotopic composition and the uranium deficit of altered wall rocks for the No 6217 and No 322 uranium deposits

岩体及矿床	岩 性	样品号	U_2 (ppm)	Pb (ppm)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ (%)	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ (%)	U_1	ΔU (%)
TS岩体 6217矿床	钠长石化花岗岩	T127-6	12.6	15	20.303	15.932	38.523	31.0	-59
	白云母化花岗岩	T127-10	26.4	10	26.46	15.48	38.366	81.1	-67
	白云母化花岗岩	T127-9	29.7	10	23.35	15.89	38.496	40.4	-27
ZG岩体 322矿床	白云母化花岗岩	WO21-25	8.6	43.8	21.567	15.632	37.458	122.6	-92
	水云母化花岗岩	WO21-21	30.0	20.0	21.786	15.518	37.443	33.68	-10.9

样品分析者：北京铀矿地质研究院分析

① 李耀松、夏毓亮、陶铨，1983，应用铀-铅同位素体系演化研究铀矿床的成矿机理。

式中： U_1 为蚀变岩石的原始铀含量； U_2 为样品的实测铀含量； Pb 为蚀变岩石铅含量； Mu 为铀原子量； M_{Pb} 为样品铅原子量； λ_8 为 ^{238}U 的衰变常数（ $0.155\ 125\times 10^{-9}\text{年}^{-1}$ ）； t_1 成岩年龄； t_2 为成矿年龄； $[^{206}Pb]^*\%$ 为放射成因 ^{206}Pb 的百分含量（扣除初始铅）

$$\Delta U = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \times 100$$

从表 4 可知，6217 矿床和322 矿床中早期蚀变（白云母化、钠长石化及水云母化）岩石的原始铀含量较高，是现今实测铀含量的2—3倍，个别样品（WO21—25）超过 10倍。这表明早期蚀变围岩中可能有27—93%的铀已活化转移被带出，从而有力地证明岩体早期面型蚀变作用为铀矿床形成提供了部分铀源。

四、蚀变围岩能提供有利于铀成矿富集的地球化学环境

华南产于花岗岩和火山岩中的热液铀矿床都产出在交代蚀变作用十分发育的地段，其原因之一在于蚀变围岩造成了一个有利于铀沉淀富集的强还原地球化学环境。这是因为铀属变价元素，在氧化环境中呈六价铀形式迁移，但在还原环境中则呈四价铀形式沉淀。所以，铀矿床围岩还原性能的强弱对铀的沉淀富集具有重要的影响。我们采用氧化-还原电位落差值(ΔEh)来度量围岩的还原能力。其具体做法是先测定现配制的高锰酸钾氧化溶液（每100mL 0.1molKMnO₄水溶液加入2mL10%KOH溶液）的 Eh_1 ，然后将欲测围岩的粉末状试样（1g）加入氧化溶液测得 Eh_2 。 $\Delta Eh = Eh_1 - Eh_2$ 即为围岩还原能力。 ΔEh 值越大，表明它们的还原能力越强。我们测定了 6217 矿床，DL矿床和 384 矿床含矿岩石和蚀变围岩的 ΔEh ，其结果列于表 5。从该表可知，6217，DL,384 矿床的水云母化、绿泥石化、黄铁矿化、黑云母化、黄铁绢英岩化等蚀变围岩具有较强的还原能力，其 ΔEh 值大于35mV。笔者认为，促使成矿流体中铀还原沉淀的因素除围岩的 ΔEh 值外，蚀变围岩与正常含矿岩石的 ΔEh 差值($\Delta\Delta Eh$)，具有重要作用。蚀变围岩的 $\Delta\Delta Eh$ 表征其相对还原能力的大小， $\Delta\Delta Eh$ 越大，越有利于铀的迅速沉淀和富集。384,382,DL和 6217 热液铀矿床蚀变围岩的 $\Delta\Delta Eh$ 分别为 23,12.4,15,21—29mV。这表明，矿前期或成矿早期形成的黑云母化、黄铁矿化、绿泥石化和黄铁绢英岩化等蚀变围岩可形成一种使铀沉淀富集的强还原地球化学

表 5 华南热液铀矿床中正常和蚀变岩石的还原能力 (ΔEh)
Table 5 Reducing capacity (ΔEh) of normal and altered rocks from hydrothermal uranium deposits in South China

矿 床	岩 性	ΔEh (mV)	$\Delta\Delta Eh$ (mV)
384	黑云母二长花岗岩	28	7 23
	绿泥石化二长花岗岩	35	
	黄铁绢英岩化二长花岗岩	51	
382	黑云母花岗岩	23.1	12.4
	黑云母角岩	35.5	
DL	石英正长岩	22	15
	黑云母角岩	37	
6217	二云母花岗岩	30	21 29
	黄铁矿化花岗岩	51	
	水云母-绿泥石化花岗岩	59	

环境。我国华南不少热液铀矿化与铁绿泥石化、黄铁绢英岩化、铁白云石化及黑云母化围岩紧密共生的事实就是有力的佐证。

五、一些蚀变矿物具有很强的聚铀能力，成为铀的富集剂

我们在研究华南热液铀矿床矿石物质成分时，在显微镜下经常观察到以沥青铀矿为主的铀矿物呈浸染状、细脉状或显微粒状与铁绿泥石（376矿床和384矿床）、铁白云石（DL矿床）、水云母（670和661矿床）和萤石（65矿床）等蚀变矿物密切共生。在矿石光片中还观察到沥青铀矿直接沿方铅矿（图版 I-1）、黄铁矿（图版 I-2）、闪锌矿（图版 I-3）等金属硫化物边缘沉淀晶出现象。在376矿床中，显微粒状沥青铀矿与铁绿泥石紧密连生，沥青铀矿选择性的分布在铁绿泥石集合体中，而石英集合体中则无沥青铀矿分布。

为了进一步查明铀在蚀变矿物中的聚集分布情况，我们采用诱发裂变径迹法对花岗岩和霏细斑岩中的水云母、绿泥石、针铁矿、黄铁矿、白钛石等蚀变矿物进行了研究，发现铀在绿泥石、水云母、针铁矿、黄铁矿、白钛石中富集，但在赋存状态方面有很大区别。蚀变花岗岩中的铀在绿泥石中呈星点状密集径迹分布（图版 I-4），这是存在显微独立铀矿物相的显示，其形成与绿泥石具有较强的还原能力有关。在赤铁矿化（红化）霏细岩中铀聚集在水赤铁矿-针赤铁矿基质中，裂变径迹呈密集星点状分布，而与其共生的黄铁矿则仅在其周边有铀的聚集（图版 I-5a, b）。这显示出水赤铁矿-针铁矿具有较强的吸附铀的能力，而黄铁矿则具有较强的还原聚铀能力。石英正长岩中铀在蚀变水云母中也明显富集。在蚀变不均匀的黑云母的薄片上，我们观察到褐铁矿化部位中铀的裂变径迹密度明显高于新鲜黑云母部分的现象（图版 I-6a, b）。这表明黑云母经水化作用析出的针铁矿具有较强的吸附铀的能力。上述事实充分表明，一部分富含 Fe^{2+} 或吸附能力很强的蚀变矿物在铀成矿过程中可以起着富集剂的作用。

综上所述，热液蚀变对铀成矿富集作用有着多方面的影响。矿前期面型蚀变和成矿早期各种蚀变作用不仅能改变围岩的物理-力学性质，从而为成矿溶液的运移和矿质沉淀提供必要通道和容矿空间，而且能改变铀在围岩中的存在形式，使活动铀含量增高，有利于铀的活化转移并为成矿溶液提供部分铀源。它们还可为成矿物质的沉淀固定提供有利的地球化学环境和固铀剂。

在野外工作期间笔者得到中国核工业总公司华东地勘局262与269大队和中南地勘局302大队的热情支持和帮助，文中还引用了北京铀矿地质研究院的部分资料，在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 〔1〕 杜乐天等编著，1982，花岗岩型铀矿文集。第1—99页，原子能出版社。
- 〔2〕 章邦桐、戴永善、王年生、刘继顺，1988，华南花岗岩铀成矿能力的地球化学判别标志。核科学与工程，第8卷，第2期，第153—164页。
- 〔3〕 戎嘉树、韩泽宏，1984，产铀花岗岩中铀存在形式及铀配分研究。花岗岩地质和成矿关系，第413—423页，苏科学技术出版社

图 版 说 明 Explanation of plate

图1. 沥青铀矿(Pit)围绕方铅矿(Ga)生长，浙江，光片， $\times 60$ 。

Fig. 1 The pitchblende (Pit) growth around the galena (Ga), Zhejiang, polished section.

图2. 沥青铀矿(Pit)沿黄铁矿(Py)边缘沉淀，浙江，光片， $\times 60$ 。

Fig. 2 The pitchblende (Pit) precipitated along the margin of pyrite (Py), Zhejiang, polished section $\times 160$.

图3. 沥青铀矿(Pit)沿闪锌矿(Sf, 含乳浊状黄铜矿)边缘沉淀，浙江，光片 $\times 60$ 。

Fig. 3 The Pitchblende(Pit) precipitated along the margin of sphalerite(Sf) with emulsible chalcopyrite, Zhejiang, polished section, $\times 60$.

图4. 铀在花岗岩蚀变绿泥石中的分布, 白云母探测器上由铀产生的诱发裂变径迹, 安徽, $\times 40$ 。

Fig. 4 Distribution of uranium in altered chlorite from granite, induced fission-tracks of uranium as detected by muscovite detector, Anhui, $\times 40$.

图5. 铀在赤铁矿化细斑岩中的分布, 浙江, $\times 60$

a—细斑岩中的黄铁矿(Py)和石英(Q), 单偏光; b—铀的诱发裂变径迹。

Fig. 5 Distribution of uranium in hematite altered felsite-porphyry, Zhejiang, $\times 60$.

a—pyrite(Py) and quartz(Q) in felsite-porphyry; b—induced fission-tracks of uranium.

图6. 铀在花岗岩蚀变黑云母中的分布, 湖南, $\times 100$

a—蚀变黑云母(Fe)和正常黑云母(Bi), 单偏光; b—铀的诱发裂变径迹。

Fig. 6 Distribution of uranium in altered biotite from granite, Hunan, $\times 100$.

a—altered biotite(Fe) and normal biotite(Bi), parallel nicols; b—induced fission-tracks of uranium.

ON THE RELATIONSHIP BETWEEN HYDROTHERMAL ALTERATION AND URANIUM ENRICHMENT

Zhang Bongtong, Wu Junqi, Qiu Zhili and Liu Yi

(Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing)

Abstract

According to the physicommechanical properties, uranium leaching tests and induced fission tracks of uranium for altered wall rocks of granite-type and volcanic-type hydrothermal uranium deposits in South China, this paper discusses the important role of hydrothermal alteration in the process of uranium metallogenic enrichment. 1. Hydrothermal alteration can cause the compressive strength of the rocks to decrease and the effective porosity of the rocks increase, therefore providing the channels and space for migration and deposition of ore-bearing fluids. 2. The pre-ore areal alteration may change the manner of occurrence of uranium in the ore-bearing rocks and thus increase the leachability of uranium, thereby supplying ore-forming fluids with a part of uranium. 3. The decrease of Eh in altered country rocks, such as pyritosericitized and chloritized rocks, may provide a favourable geochemical environment for uranium precipitation and enrichment. 4. Some altered minerals, such as hydromica, leucoxene and iron oxides, have high adsorbability of uranium and become the collector of uranium.

作者简介

章邦桐, 生于1934年11月, 1961年毕业于苏联莫斯科地质学院放射性矿产地质专业, 现任南京大学地球科学系核能地质教研室副教授, 从事放射性地质等方面研究。通讯地质: 南京汉口路南京大学地球科学系, 邮政编码: 210008。

