

6241铀矿床围岩蚀变、矿化特征 及成因初步认识

陈 松 茂

一、地 质 特 征

6241矿床位于武夷山新华夏构造带某断陷盆地西缘。盆地两侧为印支期、燕山期花岗岩，盆地内地层由一套白垩系紫红色砾岩、砂岩、泥页岩和花岗质含砾砂岩组成，不整合地覆盖于震旦系变质砂岩、千枚岩、板岩和石炭系的轻微变质细砂岩、页岩和煤层之上，盆地基底为花岗岩。

矿床中主构造为新华夏系北北东向断裂，该断裂构造或沿花岗岩与盆地的接触带通过，或切割花岗岩体的边部。断裂总体走向为北东 $5-10^{\circ}$ ，倾向南东，倾角变化大，多在 $20-50^{\circ}$ 之间。矿床位于断裂构造中段由北北东向转为北西 340° 的拐弯处。断裂构造充填物为灰绿色硅化糜棱岩、白色块状石英和灰色构造泥等，显示断裂构造多次活动的特点。

矿床内出露有晚白垩系花岗质含砾砂岩（其中夹薄层状、透镜状的含砾泥砂岩）和强烈压碎的粗粒斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩（图1）。矿体主要产在花岗质含砾砂岩和粗粒斑状黑云母花岗岩中，细粒黑云母花岗岩局部也有较好的铀矿化。花岗岩矿物成分及化学成分见表1、表2。

6241铀矿床矿化严格受构造控制，矿体的产状、形态决定于含矿裂隙构造的产状和形态。按矿体赋存的构造部位和产状，将矿体分为二组。一组产于花岗质含砾砂岩中，受主断裂派生的次级侧羽裂隙构造控制；矿体总体展布方向为北东 $10-45^{\circ}$ ，倾向南东，倾角 $60-70^{\circ}$ ；矿体较大，品位较高，形态为透镜状、脉状，呈雁列式排列（图2）。另一组产于粗

花岗质含砾砂岩和花岗岩*矿物含量

表 1

岩 性 \ 矿物含量 (%)	石 英	钾长石	斜长石	黑云母	白 云 母	钠长石	钙长石
粗粒斑状黑云母花岗岩	33.8	24.1		8.0	1.6	27.4	5.6
花岗质含砾砂岩	39.9	25.9	12.3	少量	胶结物22.5		

* 按三氏法计算

粒斑状黑云母花岗岩及细粒黑云母花岗岩内，受主断裂控制，矿体赋存于该断裂上盘的花岗碎裂岩中；矿体走向为北西 340° ，倾向北东，倾角为 $40-50^{\circ}$ ，与主干断裂的产状基本一致；矿体一般短小，但沿倾向延伸较大，呈脉状或透镜状产出。

花岗岩及花岗质含砾砂岩化学成分

表 2

化学成分(%) 岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	H ₂ O ⁻	U (ppm)
花岗质含砾砂岩	76.16	0.17	10.84	0.87	0.62	0.05	0.51	1.36	1.94	6.70	0.08	1.56	0.18	6.9
含砾泥砂岩	67.82	0.41	14.41	2.94	1.11	0.06	1.13	0.83	2.38	5.60	0.18	1.80	0.78	9
粗粒斑状黑云母花岗岩	71.53	0.31	12.93	0.90	2.45	0.08	0.85	1.33	2.93	4.48	0.23	1.21	0.15	16

(二六二大队实验室分析)

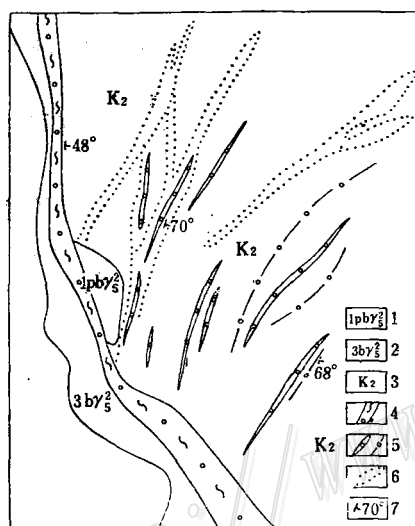


图 1 6241铀矿床地质略图

1—粗粒斑状黑云母花岗岩; 2—细粒黑云母花岗岩; 3—花岗质含砾砂岩; 4—硅化糜棱岩; 5—石英-玉髓脉; 6—退色带; 7—产状

Fig. 1. Schematic geological map of the 6241 uranium ore deposit.

1. coarse-grained porphyritic biotite granite; 2. fine-grained biotite granite; 3. conglomeratic granitic sandstone; 4. silicified mylonite; 5. quartz-chalcedony vein; 6. decolorization zone; 7. dip and strike.

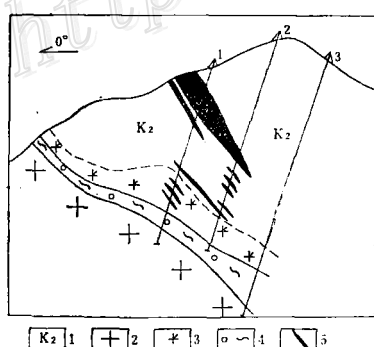


图 2 II线地质剖面图

1—花岗质含砾砂岩; 2—粗粒斑状黑云母花岗岩; 3—花岗碎裂岩; 4—硅化糜棱岩; 5—矿体

Fig. 2. Geological section along Line II.

1. conglomeratic granitic sandstone; 2. coarse-grained porphyritic biotite granite; 3. cataclastic granite; 4. silicified mylonite; 5. ore body.

二、围岩蚀变特征及其与铀矿化关系

由于花岗质含砾砂岩、粗粒斑状黑云母花岗岩和细粒黑云母花岗岩的矿物成分、化学成分都比较接近, 以及铀成矿作用的共同性, 因而这三种岩石的围岩蚀变具有很多共同点。矿

床中与铀矿化关系密切的围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、赤铁矿化、水云母化（包括绢云母化，下同）等。

1. 硅化：矿床内广泛发育有不同阶段和不同表现形式的硅化作用。近矿硅化主要是微晶石英、玉髓，分布于花岗质含砾砂岩、花岗碎裂岩的胶结物中，或成细脉、微脉充填。受硅化的岩石致密坚硬。花岗质含砾砂岩中的石英碎屑常可见到次生加大现象。所有矿体旁侧均发生不同程度硅化，反映出硅质活动与铀的富集不仅有空间上的关系，而且有成因上的联系。

据北京铀矿地质研究所的资料，硅胶在一定条件下能吸附大量铀。硅胶对溶液中铀的吸附能力与硅胶的浓度有关，硅胶浓度越大，吸附量越大。此外，铀的吸附量与溶液中的pH值亦有关，在中性偏碱区，吸附量大。当硅胶发生破坏，则沉淀晶出玉髓、微晶石英和沥青铀矿。

2. 赤铁矿化：仅局限于铀-玉髓型矿体及其近旁。赤铁矿成云雾状、粉尘状微粒浸染于红色玉髓脉（或碎裂岩）及花岗质含砾砂岩的胶结物中，局部成微脉充填。在铀-玉髓型矿化中，赤铁矿是一种很重要的蚀变。

3. 黄铁矿化：广泛发育，具多阶段性。早期形成的黄铁矿呈五角十二面体、立方体自形晶，主要分布在硅化糜棱岩及硅化破碎带中，在矿体内常成碎屑状被沥青铀矿包围或交代。晚期的黄铁矿则为胶状、粒状或不规则脉充填于裂隙中，有的围绕沥青铀矿，有的充填于沥青铀矿的收缩裂隙中。经电子探针分析，黄铁矿本身并不含铀，但黄铁矿与沥青铀矿不仅在空间上有密切关系，而且有成因上的联系。据69个岩矿样品中硫、铀含量统计，硫与铀的相关系数为0.514 ($\alpha=0.05$, $\gamma=0.24$)，回归方程为 $U=0.04+0.184S$ ，表明硫的存在（主要呈黄铁矿）为铀的富集创造了有利条件，硫或黄铁矿起了“截铀”作用。

4. 水云母化：以水云母化为主，伴有蒙脱石化和高岭石化等，它们对斜长石、钾长石和泥质胶结物进行交代。水云母化使岩石发生退色，常称为退色蚀变，以花岗质含砾砂岩最为明显和强烈，甚至石英也不同程度被交代。蚀变结果，使岩石中的 SiO_2 大量减少，而 K_2O 、 Al_2O_3 大量增加。经电子显微镜鉴定，水云母以长条状为主，碎片状者较少，这种长条状水云母系热液作用的产物^①。同时可见到蒙脱石向长条状水云母转变（照片1）；也见碎片状水云母向蒙脱石转变。这些现象表明含矿热液与围岩作用过程中，热液的性质也在不断地变化。

在矿床内还见有晚期的浅色萤石脉、方解石脉和梳状石英脉。

上述围岩蚀变矿物组合和蚀变岩石化学成分随矿化类型不同而异。

铀-玉髓型矿化蚀变往往有明显的蚀变分带，一般来说，矿体中心为强硅化、赤铁矿化和黄铁矿化，往矿体两侧逐渐减弱，并为水云母化代替。表现在化学成分上， SiO_2 、 Fe_2O_3 和 FeO 在矿体中心都较高，逐渐向两侧递减；而 K_2O 、 Al_2O_3 和 Na_2O 则自矿体旁侧向矿体中心减少（表3，图3）。这表明在成矿的同时，残余溶液向围岩渗透扩散，与围岩发生反应，随距离矿体远近，形成不同的矿物组合，构成不同蚀变带^[1]。上述蚀变矿物及化学成分变化在不具矿化的白色微晶石英脉体两侧也有类似表现，如硅化、水云母化等。但是不具铀矿化的

① 据蔡根庆1981年资料。

蚀变花岗质含砾砂岩化学成分

表 3

化学 成分(%) 样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	H ₂ O ⁻
137	78.89	0.72	9.72	1.48	0.59	0.01	0.21	0.26	2.18	5.23	0.09	0.82	0.1
138	77.02	0.44	10.91	1.60	0.52	0	0.10	0.40	2.18	5.13	0.05	0.90	0.05
139	80.19	0.29	8.34	0.99	0.60	0.02	0.26	1.10	1.58	4.30	0.06	1.58	0.07
140	81.29	0.84	7.76	1.68	0.72	0.03	0.10	0.46	1.60	3.53	0.05	0.93	0.11

(二六二大队实验室分析)

微晶石英脉。自两侧向脉体中心, Fe₂O₃和FeO含量是减少的(图4)。因此, 硅质脉中有赤铁矿和黄铁矿的存在是一个重要的找矿标志。

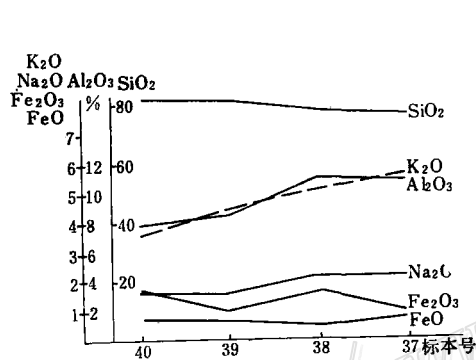


图 3 花岗质含砾砂岩近矿蚀变化学成分变化曲线

37—花岗质含砾砂岩; 38—水云母化带; 39—弱硅化、弱水云母化带; 40—铀矿化伴有硅化、赤铁矿化、黄铁矿化

Fig. 3. Variations in chemical composition of conglomeratic granitic sandstone caused by near-ore alteration.

37. conglomeratic granitic sandstone; 38. hydromica alteration zone; 39. weak silicification and weak hydromica alteration zone; 40. uranium mineralization accompanied by silicification, hematitization and pyritization.

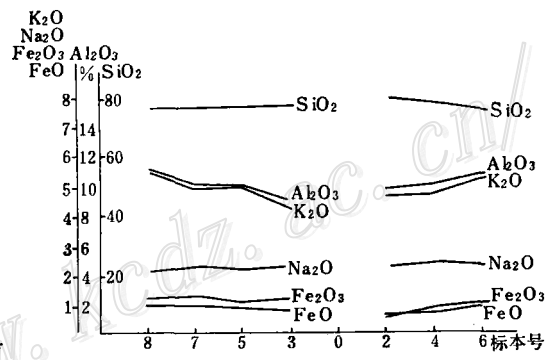


图 4 花岗质含砾砂岩中细晶石英脉两侧蚀变带化学成分变化曲线

0—石英脉; 2,3—硅化、弱水云母化带; 4,5—水云母化带、弱硅化带; 7—弱水云母化带; 6,8—花岗质含砾砂岩

Fig. 4. Variations in chemical composition of alteration zone on both sides of fine-grained quartz vein within conglomeratic granitic sandstone.

0. quartz vein; 2,3. silicification and weak hydromica alteration zone; 4,5. hydromica alteration zone and weak silicification zone; 7. weak hydromica alteration zone; 6,8. conglomeratic granitic sandstone.

从而看出不同类型铀矿化蚀变, 实际上是同一成矿过程的不同表现形式和不同蚀变强度所反映出的矿物空间分带以及矿物组合差异, 并没有本质上的区别。

三、铀矿矿化特征

6241铀矿床内两种矿化类型既有一定的联系, 也有一定的区别。表现在矿化特征上既有

共同之处, 也有差别之点。

1. 铀-玉髓型矿化: 此类型矿化与硅质活动有密切关系, 铀矿化发生于遭受破碎和不同程度硅化的花岗质含砾砂岩和花岗岩中。矿石中金属矿物除沥青铀矿外, 有较多黄铁矿, 少量赤铁矿和白铁矿, 偶见黄铜矿。脉石矿物有石英、水云母和少量碳酸盐。硅质有以下两种产出状态, 它们的矿化特点大同小异。

(1) 呈微晶石英和玉髓产出的硅质分布于花岗质含砾砂岩、花岗碎裂岩的胶结物中, 伴随有赤铁矿化和黄铁矿化。赤铁矿化范围与矿体基本一致, 矿石致密坚硬。铀主要形成沥青铀矿, 其次呈分散状, 为胶结物和蚀变的斜长石所吸附。沥青铀矿呈斑点状构造或似胶状构造。沥青铀矿常围绕黄铁矿、长石、石英碎屑的周围产出。此类矿石品位高, 化学成分以 SiO_2 显著高为特征(SiO_2 在铀-水云母型矿石中为63.94%, 铀-玉髓型矿石中为78.47%)。

(2) 呈脉状产出的硅质, 以含铀-玉髓或沥青铀矿和含铀-玉髓脉组成复脉。含铀玉髓脉大小悬殊, 宽几厘米至1米以上不等。矿体一般较脉范围大。含铀-玉髓脉有黑色和红色之分, 黑色玉髓脉中含沥青铀矿和黄铁矿多, 红色玉髓脉中含大量微粒赤铁矿和少量沥青铀矿。沥青铀矿在含铀-玉髓脉中呈微粒和微脉, 分布于微晶石英和玉髓之间(照片2), 以及长石、石英碎屑与微晶石英之间; 或分布于细晶梳状石英锥顶间隙中; 更有趣的是沥青铀矿微粒以梳状石英锥体分布(照片3)。这些情况表明沥青铀矿与硅质的结晶是同时或交替进行的。沥青铀矿普遍具胶状结构, 肾状、豆状、葡萄状构造, 脱水收缩裂隙很发育。其化学成分和微量元素如表4、表5。与花岗岩中同类型矿化的沥青铀矿^[2]相比较, 造岩氧化物 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 等都比较高, 反映晶出速度快, 矿物的自形程度低。Pb含量低, 反映形成时代较新^①, 这与沥青铀矿的年龄(42百万年)是一致的。

沥青铀矿化学成分(%)

表4

H_2O^+	ThO_2	SiO_2	全 Fe_2O_3	$\Sigma \text{R}_2\text{O}_3$	Al_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	PbO	UO_2	UO_3
1.50	0.57	7.57	1.67	0.98	0.92	0.77	0.09	2.22	0.13	0.25	0	0.03	0.48	54.68	27.82

(北京铀矿地质研究所分析)

沥青铀矿光谱分析结果

表5

Ba	Be	Si	Al	Mg	Mn	Pb	Sn	Fe	Cr	Bi	Tl	Cu	Ca
0.06	0.001	4	0.05	0.05	0.02	0.1	0.001	0.3	0.001	0.001	0.01	0.002	1

(北京铀矿地质研究所分析)

2. 铀-水云母型矿化: 主要产在花岗质含砾砂岩中, 退色蚀变带(即矿体)常产于微晶石英脉附近。矿石中金属矿物主要是黄铁矿和少量褐铁矿。黄铁矿光泽弱, 甚至成黑灰色, 表面凹凸不平, 普遍见有裂纹, 表明黄铁矿受一定氧化作用。矿石中因大量水云母等粘土矿物存在, 因而常呈黄绿色, 且松散易碎。铀在矿石中主要呈次生矿物微粒或分散状被吸附于

① 据203所的花岗岩型铀矿床研究资料。

胶结物(照片4)或长石微裂纹中,褐铁矿和氧化的黄铁矿也吸附了较多分散铀(照片5、6),因而矿石中铀的浸出率和电渗率都比较高。铀-水云母型矿石经统计处理,铀与 H_2O^- 呈正相关(表6),表明铀是以含水次生矿物或溶于水的硫酸盐类存在,从潮湿矿石干燥以后,析出白色羽状石膏和升华状黄色矿物可以得到佐证。这类矿化类型特征表明,铀的富集是低温热液作用和表生淋积作用叠加的结果。热液作用产生强水云母化、去硅化和黄铁矿化,并有铀的初步富集,为铀的次生富集创造了良好环境(如吸附剂和空间等)。出露于地表的矿体和围岩风化剥蚀及地下水携带的铀都可为这种富集作用提供铀源。

矿石化学成分相关矩阵

表 6

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	H_2O^-	U
SiO_2	1													
TiO_2	-0.36	1												
Al_2O_3	-0.96	0.43	1											
Fe_2O_3	-0.71	0.43	0.74	1										
FeO	0.35	-0.57	-0.49	-0.62	1									
MnO	-0.31	0.58	0.45	0.39	-0.44	1								
MgO	-0.04	-0.29	0.07	0.02	0.28	-0.38	1							
CaO	-0.16	0.22	0.09	-0.24	0.14	0.36	-0.50	1						
Na_2O	-0.08	-0.18	-0.22	-0.26	0.03	-0.20	-0.33	0.13	1					
K_2O	-0.78	0.02	0.67	0.49	-0.11	0.03	-0.09	0.01	0.18	1				
P_2O_5	-0.43	0.66	0.51	0.49	-0.61	0.84	-0.49	0.47	-0.05	0.11	1			
烧失量	-0.61	0.20	0.61	0.40	-0.08	0.24	0.11	0.22	-0.51	0.41	0.20	1		
H_2O^-	0.04	-0.11	-0.07	-0.26	0.09	-0.57	0.35	-0.32	-0.19	0.06	-0.61	-0.02	1	
U	0.24	-0.22	-0.24	-0.33	0.01	-0.16	0.14	-0.24	0.26	-0.16	-0.35	-0.10	0.58	1

n = 24

 $\alpha = 0.05$ $\gamma = 0.404$

四、矿床成因认识

关于6241铀矿床的成因有各种不同认识,如地下水成矿说、岩浆热液说等。作者通过多年工作,初步认为应属低温热液铀矿床,但局部有表生作用叠加。

1. 铀矿体严格受断裂构造控制,分布于不同方向的构造中,而且无论粗粒斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩或是红盆中花岗质含砾砂岩均有铀矿体产出。

2. 矿床中两种矿化类型及伴生的热液蚀变,均属同一矿化过程的产物。

3. 矿石的物质成分简单,沥青铀矿具胶状结构,并且化学成分中造岩氧化物较高,共生矿物中大量出现典型低温矿物,如玉髓、水云母、方解石以及白铁矿等。

4. 矿床内花岗质含砾砂岩中铀矿化与邻近花岗岩中铀矿化特征基本相似,而且成矿时代十分吻合。

5. 矿床中黄铁矿硫同位素组成与典型的沉积砂岩铀矿床和典型岩浆热液矿床均不相同,而介于二者之间(图5)。铀其 δS^{34} 值为 -4.7 — -9.7% , $\text{S}^{32}/\text{S}^{34}$ 为 22.326 — 22.438 。

因此,6241矿床应属低温热液铀矿床,局部有表生作用叠加。

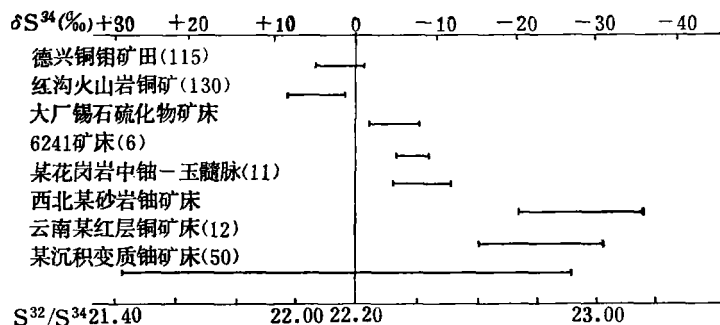


图5 硫同位素组成变化图

Fig. 5. Variations in sulfur isotope compositions of various ore deposits.

岩石浸泡试验结果

表7

样号	岩性	第二天	第三天	第五天	第十天	第十五天	第二十天
H513	紫红色花岗质含砾砂岩	$3.12 \cdot 10^{-7}$	$2.6 \cdot 10^{-6}$	$1.5 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-6}$
H521	紫红色花岗质含砾砂岩	$1.04 \cdot 10^{-7}$	$1.56 \cdot 10^{-6}$	$1.56 \cdot 10^{-6}$	$1.56 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-6}$	$3.12 \cdot 10^{-6}$
H518	硅化糜棱岩	$3.12 \cdot 10^{-7}$	$3.12 \cdot 10^{-7}$	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$1.56 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-6}$
H515	蚀变碎裂粗粒斑状黑云母花岗岩	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$1.56 \cdot 10^{-6}$	$2.6 \cdot 10^{-6}$	$1.04 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$2.08 \cdot 10^{-5}$
H517	蚀变碎裂粗粒斑状黑云母花岗岩	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$1.56 \cdot 10^{-6}$	$1.04 \cdot 10^{-5}$	$1.04 \cdot 10^{-5}$	$1.30 \cdot 10^{-5}$	$1.30 \cdot 10^{-5}$
H523	浸泡水	$1.04 \cdot 10^{-7}$	$1.04 \cdot 10^{-7}$	$1.04 \cdot 10^{-7}$	$1.04 \cdot 10^{-7}$	$1.04 \cdot 10^{-7}$	$1.04 \cdot 10^{-7}$

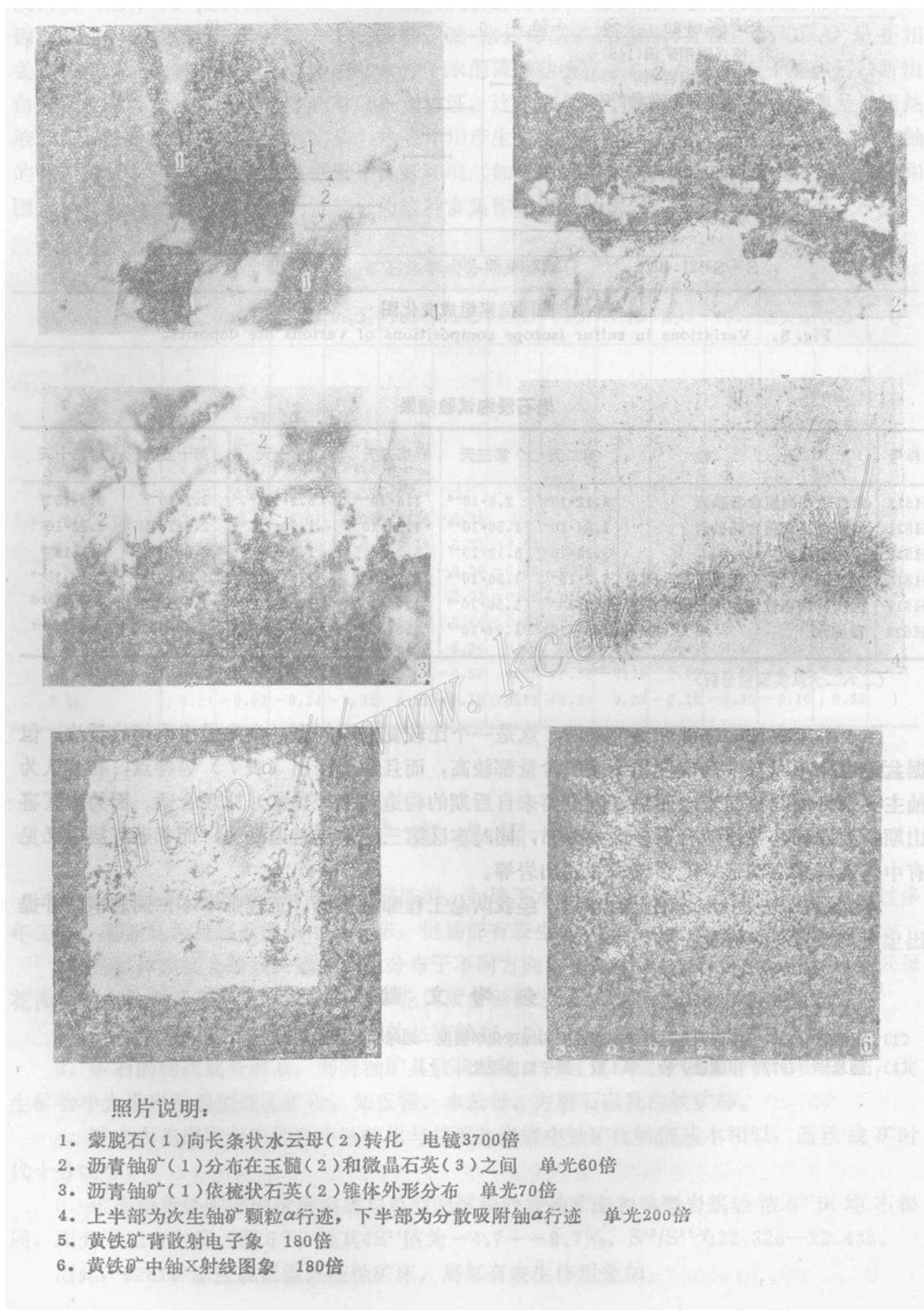
(二六二大队实验室分析)

至于矿床中铀的来源和热液来源，这是一个比较复杂的问题，尚难提出确切的看法。但据盆地边缘花岗岩中铀丰度和黄铁矿含量都较高，而且易于浸出（表7）等特点，初步认为铀主要来自周围花岗岩，而热液则主要来自后期的构造热液（热水）比较合适。因为本区喜山期断裂发育，并伴随有很多温泉分布，同时本区第三纪地层普遍缺失，而邻近红层中又见有中基性岩浆活动形成的煌斑岩和安山岩等。

本文系在前人工作基础上的总结，经我队总工程师颜裕民、工程师章本仁同志审阅并提出宝贵修改意见，在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 王联魁 1977 中低温热液近矿围岩蚀变的地球化学模型 地球化学 第1期
 [2] 魏思华 1977 中国铀矿物 第1版 原子能出版社



A PRELIMINARY UNDERSTANDING OF THE 6241 ORE DEPOSIT—ITS WALL ROCK ALTERATION AND URANIUM MINERALIZATION

Chen Songmao

Abstract

Located on the western flank of the Wuyishan structural zone and also at the western margin of a block basin, the uranium deposit in question is unexceptionally controlled by structural features. Uranium ore occurs chiefly in Cretaceous granitic conglomeratic sandstone and, to a less extent, in coarse-grained porphyritic biotite granite, with basically identical mineralization characteristics in both rocks. Mineralization could be predominantly classified into uranium-chalcedony type and uranium-hydromica type.

A fairly distinct alteration zoning has been recorded on either side of the uranium-chalcedony type deposit. From the ore body outward, alteration changes from heavy silicification, hematitization and pyritization to hydromicatization, accompanied by a decrease of SiO_2 , Fe_2O_3 and FeO and an increase of Al_2O_3 and Na_2O . Uranium occurs mainly as pitchblende and secondarily as adsorbed material in ore. Pitchblende often surrounds and replaces pyrite as veinlets or impregnations and possesses colloform texture. This mineral contains comparatively high SiO_2 , Al_2O_3 and MgO and relatively low Pb , suggesting rapid crystallization and young formation age—its age is dated isotopically at 42m. y. .

Occurring mainly in granitic conglomeratic sandstone, the uranium-hydromica type mineralization is characterized by intense hydromicatization and desilication accompanied by montmorillonitization and pyritization, commonly known as decolorization alteration. In addition to particles of secondary uranium minerals, uranium has been absorbed as scattered material by oxidized pyrite, limonite and hydromica, and no pitchblende has yet been found in the ore. Uranium has a close relationship with water with a correlation coefficient of 0.58 ($n=24$, $\gamma_{0.05}=0.404$). It also has a rather high electro dialysis coefficient (52.74—75.30%). All this distinguishes it from the uranium-chalcedony type.

This uranium deposit is of low-temperature hydrothermal origin; silicification had a most important bearing on uranium mineralization; pyrite played a substantial role in uranium concentration; supergene superimposition could be observed in some places; uranium was derived mostly from the surrounding granite.