

# 8411矿床沥青铀矿特征及其成因意义

闵茂中

(南京大学地质系)

8411矿床是一个以岩浆期后热液作用为主的复合成因铀矿床,它在空间上和成因上与某同熔型石英正长岩、花岗岩侵入体有关。该矿床中的沥青铀矿具有反映其形成条件的某些标型特征。本文研究了该矿床沥青铀矿的产出特点、标型特征及其成因意义。

## 一、地质概况

矿床位于一断裂拗陷带中部的侏罗纪火山盆地边缘,矿体主要赋存于一个同熔型石英正长岩侵入体外接触带侏罗系象山群长石英砂岩中。岩体出露面积约90km<sup>2</sup>,为一浅成相多阶段侵入的复式岩体,主要岩性为石英正长岩、正长岩、花岗岩。

矿石的矿物成分较复杂,主要矿物有沥青铀矿、铀黑、变铜铀云母、钙铀云母、硅钙铀矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、红砷镍矿、硫钴矿、针镍矿、各色微晶石英(黑色、红色、灰白色)、铁白云石、方解石、萤石等。按矿物形成的先后次序和共生特征,整个矿化过程可被划分为八个矿化阶段: I. 硫化物-碳酸盐阶段; II. 含铀红色微晶石英阶段; III. 含铀黑色微晶石英阶段; IV. 沥青铀矿-微晶石英阶段; V. 沥青铀矿-碳酸盐阶段; VI. 含铀红色微晶石英阶段; VII. 灰白色微晶石英阶段; VIII. 矿后碳酸盐阶段。I为矿前期,II—VI为成矿期,VII、VIII为矿后期。沥青铀矿主要形成于第IV、V矿化阶段。

## 二、矿物学特征

### (一) 产出形态及其物理性质、光学性质

在砂岩型矿石中,沥青铀矿主要呈细脉浸染状产出,在个别地段充填张裂隙或胶结围岩角砾(照片1);在石英正长岩型矿石中,主要呈浸染状分布于钾长石解理裂隙中,有时也呈细脉状产出。不同矿化阶段沥青铀矿的形态差异显著:在第IV矿化阶段微晶石英脉中,常呈不规则星散状(0.01~0.02 mm),有时呈显微圆球状;在第V矿化阶段,则形成致密状沥青铀矿(0.几~几 mm),有时呈皮壳状、葡萄状沿早期碳酸盐(照片2)、硫化物矿物四周呈环边状沉淀。沥青铀矿可被晚期方铅矿、胶黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等硫化物交代(照片3),它也可交代早期黄铁矿(照片4),因此,浸染状黄铁矿常成为沥青铀矿的“寄生体”(笔者认为这一赋存特点对铀矿石具有一定的普遍意义)。有时,沥青铀矿可胶结先存的糜棱化黄铁矿(照片5),形成所谓“烟灰状”黄铁矿,这就是普遍认为“烟灰状”黄铁矿含铀高的原因。另外,在该矿床中常见沥青铀矿与碳酸盐矿物(方解石)围绕先存的矿物或岩石碎屑呈多次韵律性交替沉淀(照片6)。

对沥青铀矿的反射率、硬度、比重进行测定,其结果列于表1。由表1可见,该矿床沥青铀矿的硬度和比重均较大,属铀氧化物分类中的第一类<sup>[1]</sup>,但其反射率偏低。

### (二) 热性质

表 1 沥青铀矿反射率(R%)、硬度(V)和比重数据\*

Table 1. Data of reflective powder, microhardness and specific gravity of pitchblende

样号	产出围岩	成矿阶段	产出形态	R (%)		V <sub>120</sub> (kg/mm <sup>2</sup> ) 平均值	比重
				绿光	红光		
IV-2	J <sub>1-2xn</sub> <sup>3-2A</sup>	V**	皮壳状、肾状	14.92	12.51	760.5	7.721
I-2-2	J <sub>1-2xn</sub> <sup>3-2A</sup>	V	葡萄状、肾状	14.72	12.50	727	7.690
沥-1	J <sub>1-2xn</sub> <sup>3-1A</sup>	V	葡萄状、肾状	11.98	10.12	436	
282-2	J <sub>1-2xn</sub> <sup>3-4A</sup>	V	葡萄状、肾状	14.09	11.79	541	
V <sub>1-39</sub>	J <sub>1-2xt</sub> <sup>3-1A</sup>	V	密集浸染状	13.10	11.10	510	
292-2	J <sub>1-2xn</sub> <sup>3-1A</sup>	V	葡萄状、肾状	14.72	12.51	759	7.583
沥-2	J <sub>1-2xn</sub> <sup>3-1A</sup>	V	葡萄状、肾状	13.52	11.64	504	

\* 反射率和比重分别用裂隙光度计、比重瓶由笔者自测。

\*\* 仅第V矿化阶段沥青铀矿可供测定，其它矿化阶段的沥青铀矿粒度微细，不易测得可靠的数据。

沥青铀矿的差热分析结果表明(图1)，其放热效应较弱，反映该矿床沥青铀矿氧化程度较低<sup>[1]</sup>。与沥青铀矿标准差热曲线对比后可认为，770°—780℃处的放热峰(图1)主要是由混入物(如方铅矿)引起的。两个沥青铀矿样品的热重分析结果(图2)表明，在加热过程中，于400°—500℃时开始增重，在900℃时其总增重量最大，分别为1.70%、2.40%，而总失重量较小，分别为1.10%、1.60%。随着沥青铀矿次生氧化程度增高(如样品I-2-2)，受热过程中的失重现象

愈明显。

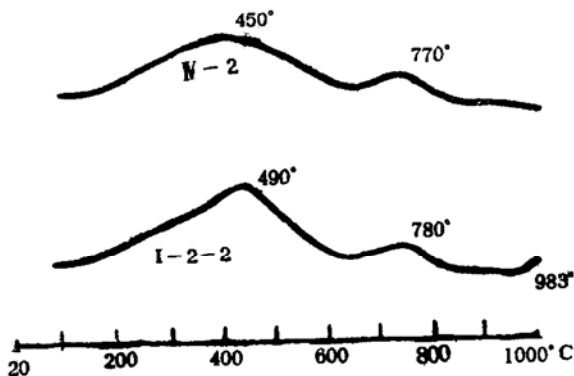


图 1 沥青铀矿的差热曲线  
(分析单位：北京铀矿地质研究所)

Fig.1 D.T.A curve of pitchblende

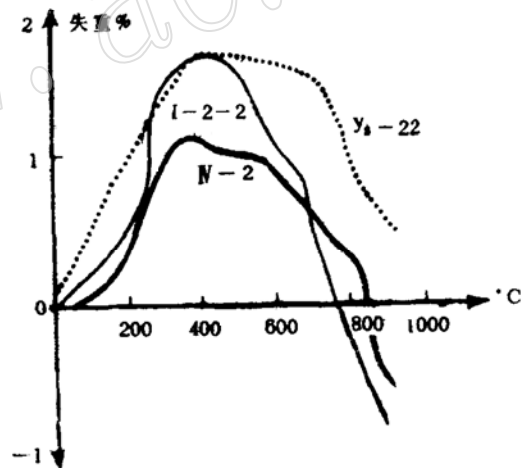


图 2 沥青铀矿的热重曲线(V<sub>1-39</sub>-22为某地内生热液成因沥青铀矿<sup>[12]</sup>)

(分析单位，北京铀矿地质研究所)

Fig.2 D.T.G curve of pitchblende

### (三) 化学成分

两个沥青铀矿样品化学全分析结果列于表2。

由表2可见，该矿床沥青铀矿的UO<sub>2</sub>含量较高，其含氧系数较沉积—淋积型沥青铀矿小，而接近或略小于形成温度较高的碱交代热液型沥青铀矿。

沥青铀矿光谱半定量分析结果(表3)及

表2 沥青铀矿化学成分对比表

Table 2. Compare the chemical composition of pitchblende

样号	成分 (%)											
	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	PbO	ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
IV-2	68.41	19.28	1.43	1.22	0.14	0.12	0.11	2.85	0.07	0.92	0.84	0.72
I-2-2*	61.97	25.98	2.03	1.15	0.06	0.18	0.08	2.23	0.17	1.08	0.53	0.29
6120 <sup>(1)</sup>	60.60	19.68	2.57	0.19			0.08	2.58	0.27	1.10	0.40	0.21
38-1 <sup>(1)</sup>	31.79	31.21	1.03	1.01	0.21	0.21	0.15	2.96	0.68	4.01	1.85	2.33

样号	成分 (%)					Σ	矿物化学式	含氧系数	产状
	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O±	烧失量					
IV-2	2.78	0.14	1.08	0.05		100.16	(U <sub>0.790</sub> <sup>4+</sup> U <sub>0.210</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2.210</sub>	2.210	8411矿床 某碱交代热液型铀矿床 某沉积-淋积型铀矿床
I-2-2*	2.59	0.22	1.29	0.01		99.86	(U <sub>0.716</sub> <sup>4+</sup> U <sub>0.284</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2.284</sub>	2.284	
6120 <sup>(1)</sup>	4.16		2.53			94.37	(U <sub>0.768</sub> <sup>4+</sup> U <sub>0.234</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2.334</sub>	2.234	
38-1 <sup>(1)</sup>	11.10	0.81	8.60			97.95	(U <sub>0.520</sub> <sup>4+</sup> U <sub>0.480</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2.480</sub>	2.480	

\* 样品稍风化

分析单位：北京铀矿地质研究所

表3 沥青铀矿微量元素含量

Table 3. Microelements of pitchblende

样号	元素 (%)											
	Ba	Be	As	Si	Al	P	Sb	Mg	Mn	Pb	Sn	Fe
I <sub>2</sub>	0.06	0.0001	0.05	2.0	0.06	—	0.03	0.02	0.02	0.5	0.0004	0.8
碲-6	0.1	0.0008	>0.3	3.5	0.06	—	0.1	0.03	0.03	8.0	0.0004	1.2
I-2-2	0.06	0.0004	0.15	3.0	0.06	—	0.1	0.02	0.03	4.0	0.0004	1.0
IV-2	0.04	0.0005	0.15	2.0	0.06	—	0.03	0.02	0.015	1.0	0.0004	0.7
沥青-2	0.03	0.0005	0.15	3.0	0.06	—	0.05	0.03	0.015	0.03	0.0004	0.8

样号	元素 (%)										
	Bi	Ca	V	Cu	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Y	Zr
I <sub>2</sub>	—	1.5	0.001	0.001	0.05	0.004	0.003	0.0003	—	0.1	0.002
碲-6	—	1.5	0.001	0.001	0.05	0.004	0.003	0.0003	—	0.1	0.001
I-2-2	—	1.5	0.001	0.001	0.05	0.004	0.003	0.0003	—	0.05	0.001
IV-2	—	1.5	0.000	0.001	0.05	0.004	0.003	0.0003	—	0.05	0.004
沥青-2	—	1.5	0.001	0.01	0.05	0.004	0.003	0.0003	—	0.008	0.004

分析单位：南京大学地质系中心实验室

表4 沥青铀矿电子探针分析结果

Table 4 Electronmicroprobe analyses of pitchblende

样号	元素 (%)	U	Pb	Ca	V	P	Ba	Sb	Sn	Mo
		IV-2	75.33	0.76	0.98	0.02	0.02	痕	—	—
沥-2	{	79.63	0.74	1.46	0.01	痕	—	0.11	—	—
		74.90	0.39	1.32	0.56			0.23		
IV <sub>se-r</sub>		77.01	1.54	1.15	0.01	0.20	—	0.13	—	—
I-2-2		77.44	1.12	1.98	0.02	痕	—	0.06	—	—

分析单位：北京铀矿地质研究所

电子探针成分分析结果（表4）表明，该矿物含Ca、As、Ba、V高，个别样品中钒含量达0.56%，钒在矿物中分布均匀（照片7）。

#### （四）X射线粉晶分析

两个沥青铀矿样品的X射线粉晶分析结果列于表5。

迪姆科夫指出，铀氧化物的晶胞参数直接反映其生成条件，若形成温度降低，则其晶胞参数变小。脉状热液型铀矿床中沥青铀矿的 $a_0=5.44-4.41 \text{ \AA}^{[2]}$ 。该矿床沥青铀矿的晶胞参数 $a_0$ 显著大于沉积一成岩型沥青铀矿（ $a_0=5.392-5.401 \text{ \AA}^{[1]}$ ）及淋积型沥青铀矿（表5）。

表5 沥青铀矿X射线粉晶分析结果对比表

Table 5 Compare the data of X-ray powder diffraction of pitchblende

样号	IV-2		I-2-2		615 <sup>(1)</sup>		H-310 <sup>(1)</sup>	
	I	d	I	d	I	d	I	d
粉晶数据	10	3.130	10	3.120	10	3.105	10	3.111
	7	2.710	7	2.700	4	2.707	4	2.677
	9	1.920	9	1.915	7	1.922	2	(2.063)
	9	1.635	9	1.632	7	1.638	8	1.897
	2	1.564	2	1.561	1	1.557	2	1.798
	2	1.354	2	1.352	1	1.368	8	1.610
	7	1.245	7	1.243	4	1.249		
	7	1.214	7	1.212	2	1.217		
	8	1.110	8	1.106	4	1.114		
	8	1.047	8	1.044	4	1.048	2	1.094
$a_0$	$5.436 \pm 0.006 \text{ \AA}$		$5.420 \pm 0.003 \text{ \AA}$		$5.436 \text{ \AA}$		$5.388 \text{ \AA}$	
产状	8411矿床				某花岗岩体内中、低温热液铀矿床		某淋积铀矿床	

分析单位：北京铀矿地质研究所

### 三、成因讨论

矿物形成时的物理化学环境都要在矿物上留下它们自己的痕迹，因此，每个矿物都不同程度地包含着反映其形成条件的成因信息。

详细地研究了该矿床大量矿石光片、薄片后表明，在整个成矿过程中，与沥青铀矿紧密共生的脉石矿物主要为红色和黑色微晶石英以及碳酸盐矿物（铁白云石、方解石），它们常形成交互沉淀结构（照片6、图3）。这反映了成矿溶液分别经历了早期的 U—SiO<sub>2</sub> 体系及以后的 U—碳酸盐体系，并形成两种迥然不同的矿物组合。推测该矿床成矿早期，铀主要以硅酸铀酰络合物搬运，当物理化学



图3 含铀微晶石英矿脉镜下素描图  
1.早期闪锌矿；2.晚期闪锌矿；3.晚期方铅矿；  
4.铁白云石、方解石；5.沥青铀矿（黑色小点）、  
微晶石英（白色）；6.石英正长岩 光薄片 ×25  
Fig.3 Sketch in microscope for the vein  
of uranium-bearing microquartz

条件（温度、压力、pH、Eh等）急剧改变时，成矿物质的溶解度突然降低，引起SiO<sub>2</sub>和UO<sub>2</sub>迅速结晶析出。因结晶中心大量增加，两者在先存硫化矿物周围（说明处于还原环境）交互沉淀，形成显微粒状沥青铀矿和微晶石英韵律生长结构（图3）；若成矿物质在矿液中强烈过饱和时，UO<sub>2</sub>可在载体物质——

SiO<sub>2</sub>沉淀以前即析出呈小圆球胶粒状悬浮在SiO<sub>2</sub>胶体溶液中，最后形成含多量沥青铀矿显微球体的含铀各色微晶石英<sup>[3]</sup>。在成矿中、晚期，铀处于碳酸盐碱性体系中，推测铀主要以碳酸铀酰络合物形式被搬运。热液减压沸腾、去气作用（CO<sub>2</sub>逸出）是促成铀沉淀的重要原因，矿床中与沥青铀矿伴生的萤石气液包裹体中的气液体积比例变化悬殊（ $\frac{1}{10}$ 至 $\frac{1}{2}$ ，少数为纯气体包裹体）是这种作用的佐证。在铀沉淀初期，热液的CO<sub>2</sub>含量迅速降低（去气），热液的pH值增高缓慢（围岩蚀变的缓冲作用），使沥青铀矿首先沉淀（图4中箭头a）；随着溶液pH值逐渐增高及CO<sub>2</sub>含量逐渐降低，沥青铀矿即与碳酸盐矿物同时交替沉淀（图4中箭头b，照片6）；当铀沉淀结束后，热液中的残余碳酸盐继续析出（照片1），形成角砾间的充填胶结物。因此，笔者认为在一个铀矿床漫长的成矿过程中，成矿热液性质可发生不断变化，其中铀的运移形式也会随之改变，这对于具体矿床必须作具体分析。

该矿床沥青铀矿的热重效应特点（图2）是：其总增重量较大，总失重量较小。它属

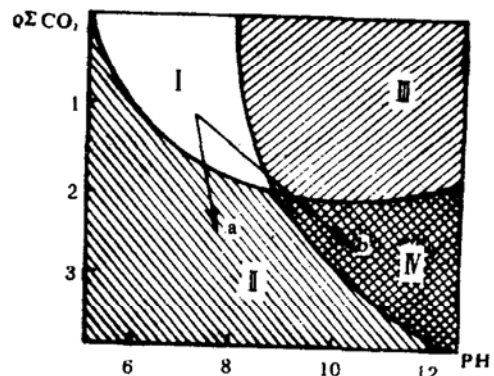


图4 沥青铀矿和方解石稳定场  
I.含铀溶液搬运区；II.沥青铀矿沉淀区；III.  
方解石沉淀区；IV.沥青铀矿、方解石同时沉淀区。  
(仿Г. Б. Наймов, 1978<sup>[4]</sup>)

Fig.4 Stable field of pitchblende and calcite

于按热重效应特点分类中的第一类沥青铀矿,属于与岩浆活动有关的内生热液成因类型<sup>[1]</sup>。

与国内沉积一成岩型和淋积型沥青铀矿相比,该矿床沥青铀矿的晶胞参数 $a_0$ 较大,其含氧系数较小,具有典型热液成因特点;与华南花岗岩型热液沥青铀矿( $a_0=5.401-5.418 \text{ \AA}$ ,含氧系数为2.37—2.70)相比,该沥青铀矿的 $a_0$ 值也偏大,而含氧系数偏小,它反映了该矿床成矿热液温度较高、氧逸度小于以地下热水为主的成矿热液。与沥青铀矿共生和伴生的其它主要矿物的测温结果(笔者自测):矿前期,闪锌矿为 $300^\circ-350^\circ\text{C}$ (理论值,含多量黄铜矿出溶乳滴),黄铁矿为 $290^\circ-360^\circ\text{C}$ (爆裂法);成矿期,红色和黑色微晶石英为 $240^\circ-280^\circ\text{C}$ (爆裂法),沥青铀矿为 $190^\circ-210^\circ\text{C}$ (爆裂法);矿后期,石英为 $150^\circ-170^\circ\text{C}$ (均一法),萤石为 $140^\circ-150^\circ\text{C}$ (均一法)。推测成矿温度区间为 $100^\circ-300^\circ\text{C}$ 。

矿物中微量元素特征常可作为成矿物质来源的指示剂。该矿床沥青铀矿富含围岩地层中的特征元素V、Ba、As、Ca等,它揭示了该矿床的部分成矿物质(包括铀)来自成矿围岩——长石石英砂岩。

矿床中40个黄铁矿样品的 $\delta^{34}\text{S}=-2.3\%—+20.5\%$ , $\delta^{34}\text{S}_{\text{平均}}=+10.44\%$ ,它代表了成矿溶液中硫源具有深部硫和地壳硫混合来源的特点。该矿床9个磁铁矿、微晶石英、白云石样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 分析结果:矿前期

$\delta^{18}\text{O}=+5.4\%—+8.04\%$ ,反映矿液水具有以岩浆水为主的特点;在与沥青铀矿伴生的石英、萤石中,见有一定数量的含NaCl子矿物的气液包裹体(照片8),同样表明矿液盐度较高,具有岩浆热液的特点<sup>[5]</sup>。矿后期 $\delta^{18}\text{O}_{\text{平均}}=-3.3\%$ ,反映了矿液水以大气降水为主的特点(该区近代大气降水的 $\delta^{18}\text{O}=-5.26\%—-7.18\%$ );成矿期 $\delta^{18}\text{O}_{\text{平均}}=+3.30\%$ ,其值介于前两者之间。硫、氧同位素资料反映了在该矿床成矿早期,岩浆水(含少量铀)向浅部运移,并与向下渗滤水或富铀围岩地层中的含铀地下水混合,促使复合成因来源的铀以沥青铀矿形式沉淀下来。这一与同熔型侵入体有关的成因特点,决定了该矿床沥青铀矿具有区别于华南改造花岗岩型热液沥青铀矿的某些标型特征。

本文承季寿元教授审阅并指正,表示深切感谢。

### 参考文献

- [1] 魏思华, 1979, 中国铀矿物。原子能出版社。
- [2] Дымков Ю. М., 1973, Природа урановой смоляной руды. Москва. Атомиздат.
- [3] 杜乐天等, 1982, 花岗岩型铀矿文集。原子能出版社。
- [4] Наумов Г. Б., 1978, Основы физико-химической модели уранового рудообразования. Москва Атомиздат.
- [5] 徐国凤等, 1983, 陕西某“卡林型”金矿床砷铜矿研究。矿物学报, 第3期。

## The Characteristics of Pitchblende from Uranium Deposit No.8411 and Their Genetic Significance

Min Maozhong

### Abstract

In this paper systematic data on morphological characteristics, physical and optical properties, chemical composition, thermal properties and trace ele-

ment geochemistry are given for pitchblende from uranium deposit No. 8411.

The pitchblende occurs in the form of grapeform and reinform. Its association minerals are mainly the various sulfides of Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mo, magnetite, microquartz, ankerite and calcite etc.. The pitchblende always replaces pyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite and so on.

Reflective power of the pitchblende is 11.98%—14.92% (in green light), 10.12%—12.51% (in red light). Microhardness  $V_{120}$  is 504—760.5kg/mm<sup>2</sup>. Specific gravity is 7.583—7.721. Unit cell  $a_0$  is 5.436 Å—5.420 Å. The D. T. A curve has a weak exothermic peak at 450°—490°C. It is rich in ca, As, Ba, V. The pitchblende is formed between 200°—170°C. The geneses of texture of the ore and the pitchblende are discussed.

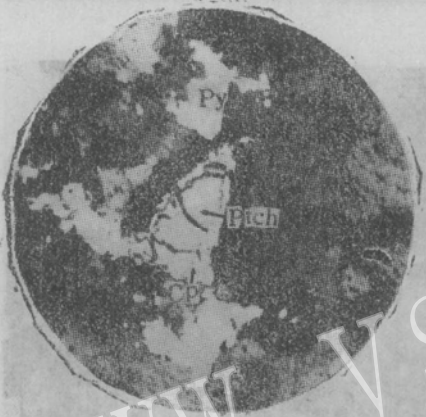
These features support a composite genesis of the uranium deposit and can be regarded as typomorphic for pitchblende from the uranium deposits related to syntectonic type granite intrusive bodies. Some of the uranium and other metallic elements of this deposit are mainly differentiated from the quartz-syenite magma. The others are drawn from the host rock.



1



2



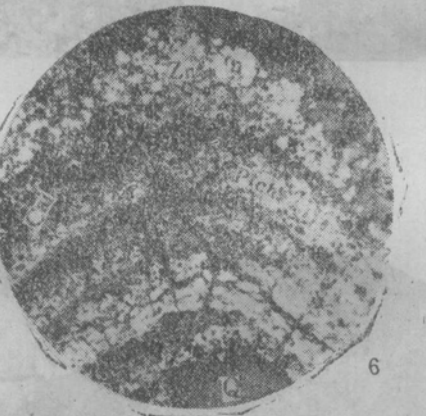
3



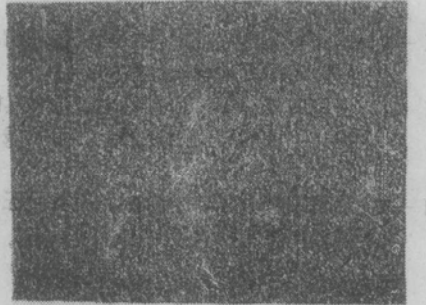
4



5



6



7



8

50μm  
100μm  
200μm  
500μm  
1000μm  
I 图版 I  
I 图版 I  
I 图版 I



- 照片 1 沥青铀矿 (Ptch) 环边状胶结围岩角砾 (br)。Cal 为铁白云石、方解石。光薄片 单偏光  $\times 98$
- 照片 2 沥青铀矿 (Ptch) 沿碳酸盐矿物 (Cal) 呈四周环边状沉淀。Zn 为闪锌矿。光片 单偏光  $\times 37$
- 照片 3 黄铜矿 (Cp) 沿边缘交代沥青铀矿 (Ptch)。Py 为黄铁矿, 暗色部分为方解石。光片 单偏光  $\times 210$
- 照片 4 沥青铀矿 (Ptch) 交代浸染状黄铁矿 (Iy)。Cal 为铁白云石、方解石。光片 单偏光  $\times 170$
- 照片 5 沥青铀矿 (黑色) 胶结矿前糜棱化黄铁矿 (Py)。暗色区另含有其它脉石矿物。光片 单偏光  $\times 50$
- 照片 6 沥青铀矿 (Ptch) 与碳酸盐矿物 (Cal) 围绕石英碎屑 (Q) 四次韵律状沉淀。Zn 为闪锌矿。光片 单偏光  $\times 37$
- 照片 7 沥青铀矿中钍的 X 射线分布图像  $\times 100$
- 照片 8 萤石气液包裹体中的 NaCl 子矿物 (Sol) 薄片  $\times 500$
-