

Study on Process Mineralogy of Uranium Deposit of Du Ning Dafushang

Bin Tang^{1*}, Zhong Pan², Shaocheng Tao³, Xiaocong Li¹, Qiang Rao¹

¹Nuclear Resources and Environment Ministry of Construction of State Key Laboratory Breeding Base, Donghua University of Science and Technology, Nanchang Jiangxi

²902 Geological Brigade, The Exploration Development Bureau of Geology and Mineral Resources in Jiangxi Province, Xinyu Jiangxi

³The Exploration Development Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi, Nanchang Jiangxi
Email: *469567774@qq.com

Received: May 7th, 2016; accepted: May 20th, 2016; published: May 26th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the study of the type of uranium ore heap leaching process and the property of mineral processing on Douning Dafushang, by means of modern test technology, this paper studies the structure, mineral composition and occurrence state of the uranium deposit systematically, in order to find out the characteristics of the uranium in the leaching residue, and provide the basic basis for the prediction, improvement and control of the heap leaching of uranium ore.

Keywords

Dafushang, Uranium Deposit, Occurrence Status, Process Mineralogy

都宁大府上铀矿床工艺矿物学研究

唐 斌^{1*}, 潘 钟², 陶少成³, 李小聪¹, 饶 强¹

¹东华理工大学核资源与环境部共建国家重点实验室培育基地, 江西 南昌

²江西省地质矿产勘查开发局九〇二地质大队, 江西 新余

³江西省地质矿产勘查开发局, 江西 南昌

*通讯作者。

Email: 469567774@qq.com

收稿日期: 2016年5月7日; 录用日期: 2016年5月20日; 发布日期: 2016年5月26日

摘要

本文在对都宁大府上铀矿床铀矿石堆浸工艺类型、矿物工艺性质研究的基础上, 通过现代测试技术手段对铀矿床矿石的结构构造、矿物组成、铀的赋存状态等工艺矿物学特征进行系统研究, 以此来查明浸出渣中铀的表现形式等特性, 为预测、改进、控制铀矿石的堆浸提供了工艺矿物学基本依据。

关键词

大府上, 铀矿物, 赋存状态, 工艺矿物学

1. 引言

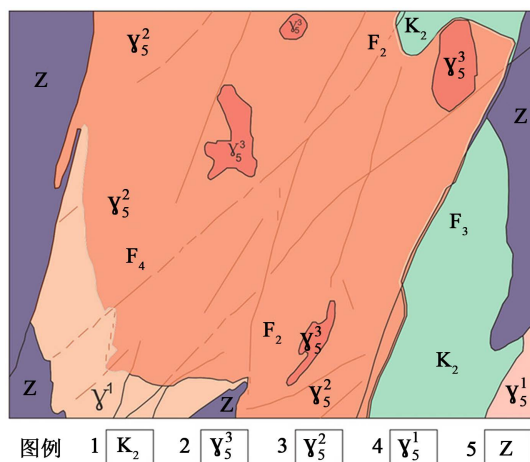
20 世纪 50 年代以来, 我国开展了大规模的铀矿普查勘探工作, 找到了多种类型的铀矿床[1]。所以对铀矿石的浸出就开始了浅薄的研究。

铀矿石工艺矿物学是浸出工艺试验研究的基础。但是, 以往的工艺矿物学的研究, 多集中于原矿石的矿物与化学组成、矿石矿物特性及结构构造、有用组分的赋存状态等方面[2]-[4], 而对矿石浸出过程中矿物的变化研究较少。

通过对铀矿石标本和样品磨制光薄片显微镜鉴定、电子探针分析、人工重砂分析、X-射线衍射分析、激光拉曼分析等多种现代测试技术, 现已基本查清矿石的矿物成分、化学成分、结构构造及铀的赋存状态、铀矿物与含铀矿物的工艺特征等, 为铀矿冶工艺流程的选择和改进提供重要科学依据。

2. 矿床地质特征

矿床位于大王山 - 于山花岗岩铀成矿带中段, 桃山复式花岗岩体中, 桃山断裂中段上盘(图 1)。



1-上白垩系; 2-细粒花岗岩; 3-黑云母花岗岩; 4-粗粒花岗岩; 5-震旦系变质岩

Figure 1. Schematic geological deposit of Dafushang

图 1. 大府上矿区地质简图

2.1. 岩浆岩

桃山岩体属加里东-燕山多期多次活动的复式岩体,面积 1100 km²。呈北北东向展布。岩石呈浅灰色,由石英(含量 31.4%)、钾长石(35.8%)、斜长石(21.9%)、黑云母(5.6%)、白云母(5.4%)等组成。岩石具中细粒结构、似斑状结构,块状构造,局部为似片麻状构造。主体岩性为粗粒和中粒斑状黑云母花岗岩。

2.2. 构造

控制矿床产出的桃山断裂带,为多期活动具有多种充填物的大断裂带,常见充填物有灰绿、紫红、灰白等多种颜色糜棱岩、石英脉及硅化破碎带。在矿床内还有一条北北东向的黄潭-罗布里断裂通过,同时派生一组北西向的次级断裂,该断裂以灰绿色,紫红色糜棱岩充填为主,属矿后构造。由于研究不够,对矿体的影响情况尚不清楚。

2.3. 围岩蚀变

矿床中热液蚀变发育,主要有:赤铁矿化、萤石化、钠长石化、硅化等。绝大多数矿体分布在赤铁矿化蚀变带中。其蚀变矿物多呈脉状、斑块状、不规则状,分布在赤铁矿化蚀变带内的裂隙或岩石碎裂带中,形成多种蚀变迭加现象。因此,在多种蚀变迭加处,经历多次矿化,而往往形成富矿体。

3. 矿体特征

3.1. 矿体的产出和空间分布范围

矿体呈群脉状产出,单个矿体呈透镜状、不规则状。总体而言,矿带的幅度较大,矿体短小分散,基本无主矿体。矿床依控矿因素及空间展布特点不同分为三个矿带。

大府上铀矿床矿体总数目为 236 个,其分布特征见表 1。

从表 1 可以总结出:金属量大于 10 t 的矿体数量虽然只占 9.8%,但金属量却占 57.8%,矿体主要集中在 I、II 号带。

3.2. 矿体厚度、品位的变化特征

矿体厚度、品位的变化特征见表 2。

由表 2 可知:三个矿带的厚度较稳定,I、II、III 号带的铀矿化较均匀。

3.3. 代表性矿体描述

大府上铀矿床代表性矿体特征见表 3。

Table 1. Distribution of ore bodies in uranium deposit of Dafushang

表 1. 大府上铀矿床矿体分布特征表

矿带	项目	P ≥ 50		10 ≤ P < 50		P < 10		合计	
		矿体数(个)	金属量(t)	矿体数(个)	金属量(t)	矿体数(个)	金属量(t)	矿体数(个)	金属量(t)
I		1	53.6	3	65.6	57	110.8	61	230.0
II		2	120.4	15	311.1	130	267.6	147	699.1
III		0	0	2	33.9	26	48.4	28	82.3
合计		3	174.0	20	410.6	213	426.8	236	1011.5

Table 2. The change of the thickness and grade of the ore body

表 2. 矿体厚度、品位的变化特征表

矿带	平均厚度(m)	最大厚度(m)	厚度变化系数(%)	平均品位(%)	最高品位(%)	品位变化系数(%)
I	2.45	8.08	89.6	0.096	0.386	69.9
II	1.92	14.60	94.2	0.095	0.570	59.7
III	1.04	2.33	59.6	0.100	0.279	59.6

Table 3. Representative ore bodies of uranium deposit of Dafushang

表 3. 大府上铀矿床代表性矿体特征表

顺序号	矿体编号	分布范围		矿体规模			平均品位(%)	矿体形态	产状	金属量(t)	占矿床资源储量百分比(%)	备注
		勘探线号	埋藏标高(m)	长度(m)	宽度(m)	平均厚度(m)						
1	I-17-1	101~102	78~222	54	108	5.13	0.075	透镜状	71°SE∠72°	53.6	5.20	
2	I-31-1	100~101	42~126	64	55	3.18	0.236	脉状	72°SE∠70°	51.4	4.98	
3	II-3-1	200~202	157~237	54	121	2.91	0.107	透镜状	78°SE∠75°	66.8	6.48	
4	II-65-1	221~223	-6~4	76	73	3.47	0.118	脉状	80°SE∠72°	57.3	5.56	
5	III-12-1	22~24	93~142	96	39	2.55	0.198	透镜状	60°SE∠70°	21.0	2.04	

4. 矿床成因和矿石类型

4.1. 矿床成因

4.1.1. 成矿物质来源

桃山复式花岗岩体为一富铀的基底变质岩经重熔形成的富铀的复成因花岗岩体，多期多阶段长期活动及岩浆的长期分异作用，使花岗岩本身越来越富铀，岩体自变质作用使铀活化，为成矿提供丰富的铀源，这是铀的主要来源。

4.1.2. 热液活动方式

燕山晚期地壳处于拉张伸展环境，致使区域性断裂运动发育，并伴有中基性岩浆活动。由于断裂的深切作用，开启热源和减压，使深部岩浆热液和封存在周围岩石粒间及孔隙中的气液向断裂集中，产生初始上升热液。当热液上升到有利成矿场所，如蚀变碎裂岩带、密集裂隙带处，即发生铀的沉淀、聚集成矿。

因此，矿床应属于中低温热液型铀矿床。

4.2. 矿石类型

矿床内据矿石矿物组合、结构构造等特征把矿石划分为两大类型，现简述如下：

(1) 铀——赤铁矿、萤石型

它由赤铁矿-沥青铀矿组合的矿石类型，亦是矿床内最早的一种且较常见。产于碱交代蚀变发育部位，矿体呈脉状透镜状。沥青铀矿晚于赤铁矿，常呈超微粒状或微细脉状，微脉浸染状出现，黄铁矿、褐铁矿较多，闪锌矿、方铅矿等少见。

(2) 铀——绿泥石、碳酸盐、绢云母型

该组合中闪锌矿、方铅矿，黄铜矿，黄铁矿，针铁矿，褐铁矿等种类较多，但量少。

矿石工业类型属富含萤石的高硅酸铀矿石，工业品级属低品位(贫)矿石。

据原地质队资料, 矿石物质成分: 矿石中伴生矿物有黄铁矿, 方铅矿, 闪锌矿及其它少量的金属硫化物。脉石矿物为石英及少量的萤石。化学全分析结果如表 4 所示, 矿石中除铀外, 其它元素含量很低, 钍的含量小于 3%, 工业利用的只有铀。

5. 矿石矿物学特征

5.1. 矿物组成

通过对大府上矿床铀矿石标本和样品进行显微镜下鉴定、电子探针分析、人工重砂分析(表 5)、X-射线衍射分析(表 6 和图 2)、激光拉曼分析等, 现已基本查明铀矿石矿物成分为沥青铀矿、铀石、钍铀矿和铀钍石, 含铀矿物有锆石、磷灰石等, 脉石矿物有石英、长石、云母、绿泥石、碳酸盐矿物、绢云母等, 其中石英约占全岩总量约 20%~35%, 长石以碱性长石为主约占 30%~45%, 斜长石约占 5%~30% 含量变化范围较大, 斜长石大多发生蚀变形形成绢云母等粘土矿物, 云母约占 5%~20% 其中白云母含量较黑云母高, 绿泥石含量约占 5%, 碳酸盐矿物约占 5%; 金属矿物有黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿, 含量低于 5%, 副矿物锆石、金红石、磷灰石等含量约占 2% 左右。

Table 4. Results of chemical analysis

表 4. 化学全分析结果表

项目	SiO ₂	H ₂ O	n.n.n	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO
含量, %	69.35	0.52	2.62	0.87	1.67	14.44	1.34
项目	MgO	TiO	P ₂ O ₅	Mn ₃ O ₄	K ₂ O	Na ₂ O	
含量, %	0.295	0.087	0.126	0.104	5.28	2.98	

Table 5. Uranium deposit placer mineral contents analysis of Dafushang

表 5. 大府上铀矿床重砂分析矿物含量表

所属类型	矿物名称	重量百分含量(%)	造岩矿物总和(%)
重部分	锆石	2.93	99.99
	磷灰石	53.51	
	钍石	0.02	
	萤石	1.37	
	黄铁矿	39.74	
	方铅矿	0.15	
	石榴子石	+	
	金属球粒	0.15	
	磁铁矿	++	
	其余	2.12	
轻部分	石英	53.52	100.00%
	长石	35.11	
	白云母	0.94	
	黑云母	4.35	
	蚀变矿物	6.08	

说明: “-”表示 1~5 粒; “+”表示 5~10 粒; “++”表示 11~20 粒; “△”表示 21~50 粒; “△△”表示 51~100。

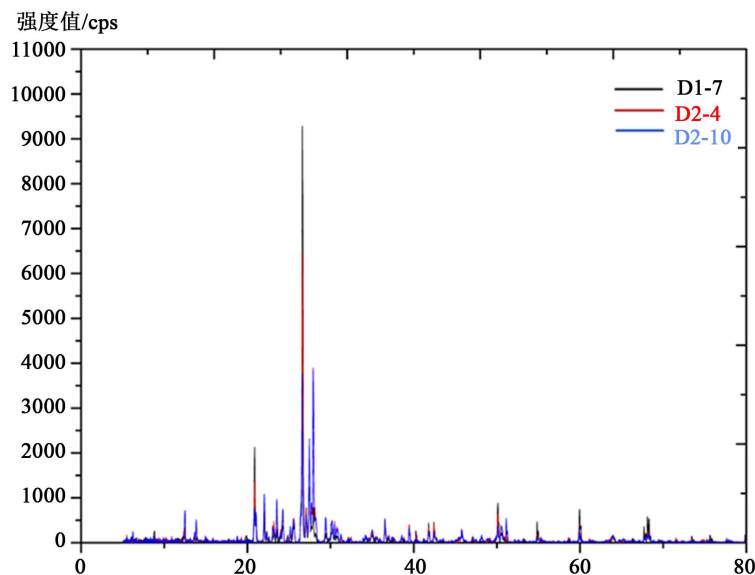


Figure 2. X-ray diffraction pattern of uranium ore deposit of Dafushang (6214)
图 2. 大府上(6214)矿床铀矿石 X 射线衍射图

Table 6. Mineral composition estimation table for X-ray diffraction analysis of uranium ore deposit of Dafushang
表 6. 大府上矿床铀矿石 X 射线衍射分析矿物组分估算表

矿物	化学式	D1-7	D2-4	D2-10
石英(Quartz)	SiO ₂	38.40%	16.82%	8.22%
α-石英(Quartz low)	SiO ₂	14.27%	6.47%	2.29%
微斜长石(Microcline)	K[AlSi ₃ O ₈]	3.70%	9.40%	11.88%
钠长石(Albite)	Na[AlSi ₃ O ₈]	43.63%	67.29%	77.61%
其他				
总和		100.00%	99.98%	100.00%

矿石矿物

根据显微镜下和能谱分析, 本矿床有用的矿石矿物包括沥青铀矿、铀石、钛铀矿、铀钍石等。

(1) 沥青铀矿

黑色, 不透明, 中高硬度, 沥青光泽, 次棱角、棱角块状。与沥青铀矿伴生的矿物有磷灰石、黄铁矿、绿泥石、金红石等。能谱线分析图如图 3。

(2) 铀石

黑色、灰黑色, 弱多色性, 玻璃光泽, 透明 - 半透明, 无一定晶形, 无解理, 硬度变化大。能谱线分析图如图 4。

(3) 钛铀矿

黑色, 玻璃 - 金属光泽, 性脆, 钛铀矿周围多见金红石、绿泥石、长石等。能谱线分析图如图 5。

(4) 铀钍石

属钍石的富铀变种, 他与磷灰石、绿泥石等共生, 常分布于云母等蚀变矿物的边缘。

5.2. 脉石矿物与金属矿物

根据重砂分析和电子探针分析可知, 本矿床的脉石矿物有石英、长石、云母、绿泥石、碳酸盐矿物、

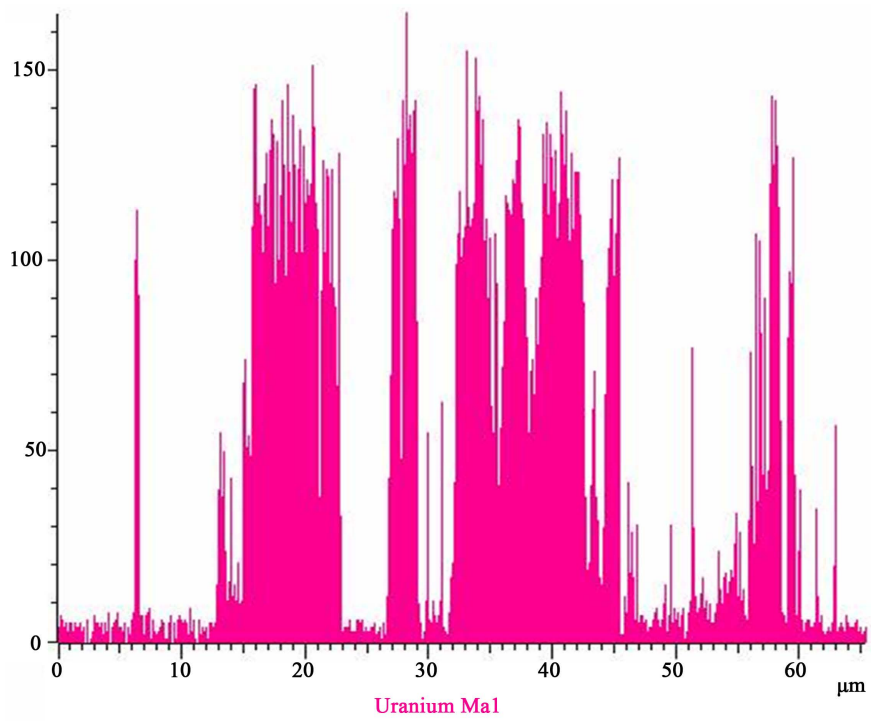


Figure 3. The analysis of uranium element image
图 3. 能谱线分析铀元素图像

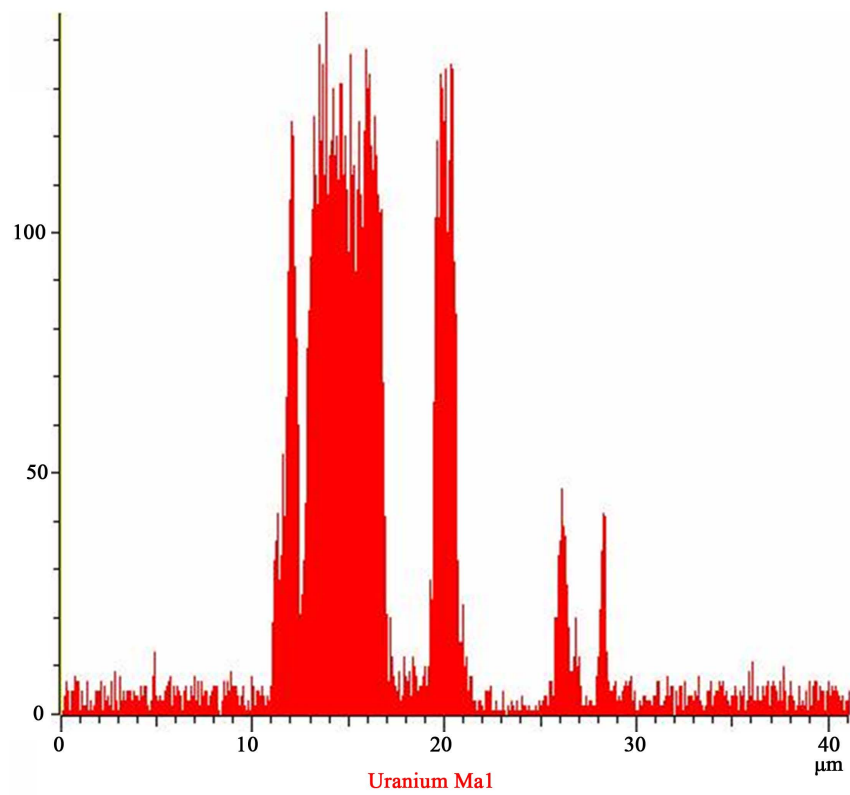


Figure 4. The analysis of uranium element image
图 4. 能谱线分析铀元素图像

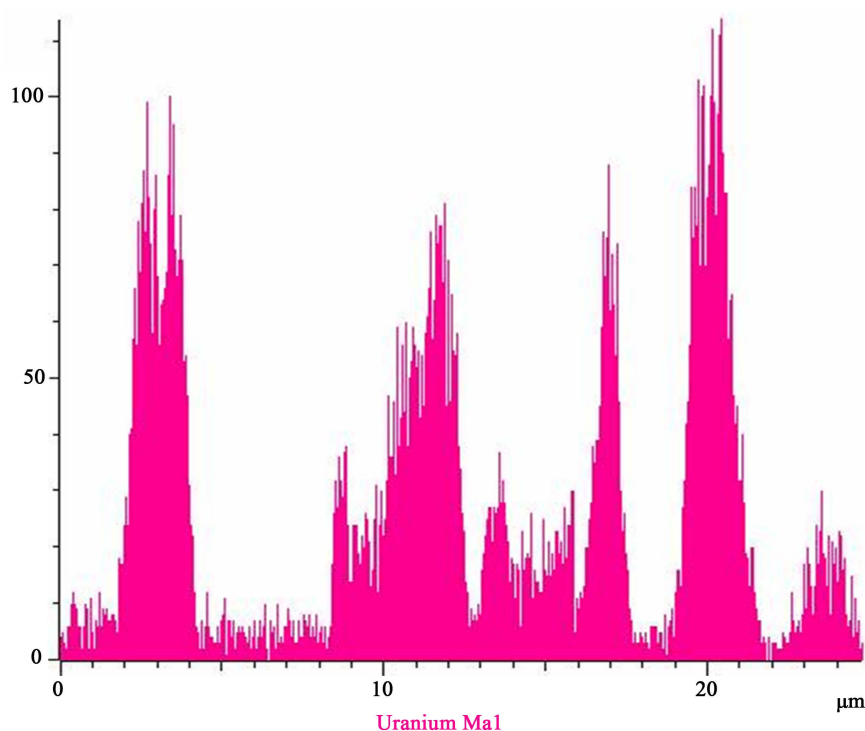


Figure 5. The analysis of uranium element image

图 5. 能谱线分析铀元素图像

绢云母等；金属矿物有黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿以及副矿物有锆石、金红石、磷灰石等。现逐一简述如下：

(1) 石英

无色，透明，棱角 - 次棱角块状，玻璃光泽，硬度高，有铁染，常见与长石等连生，多为它形粒状或集合体形式产出，粒径大小不一，成因类型多样。

(2) 长石

白色、肉粉色，棱角 - 次棱角块状，毛玻璃光泽，半透明 - 微透明，中高硬度，有铁染，主要为钾长石、钠长石，其次是条纹长石和少量斜长石。

(3) 云母

灰白 - 无色，片状或层状，珍珠光泽，低硬度，粒径 0.05~1.50 mm，约占全岩总量的 5%~20%。矿石中有白云母、黑云母和绢云母等种类，有原生的也有蚀变成因的，显微镜下可见斜长石蚀变成白云母、绢云母现象(照片 1)。

(4) 绿泥石

墨绿色，绿色，部分呈褐黄色，风化成泥状，在浸出工程中，绿泥石与粘土矿物具有一样的工艺矿物学行为，容易形成矿泥吸附钛铀矿、铀黑等难溶解的铀矿物，不利于铀矿石的浸出率的提高。

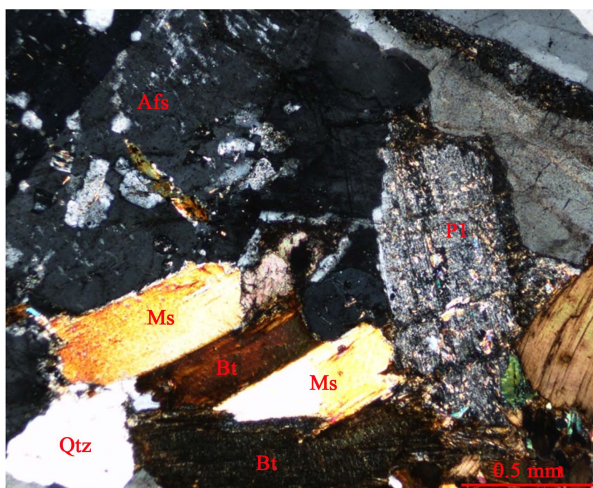
(5) 金红石

金红石在本矿床中以副矿物的形成出现，因其含量少，人工重砂分析未分离出金红石。

(6) 磷灰石

无色，半自形次浑圆状，半透明，玻 - 毛玻璃光泽，中硬度。

(7) 黄铁矿



照片 1. 正偏光：Bt-黑云母；Ms-白云母；Afs-碱性长石；Pl-斜长石；Qtz-石英
Photo 1. Mica is polarized: Bt—black; Ms—white mica; Afs—alkali feldspar; Pl—plagioclase; Qtz—quartz

铜黄色，次棱角块状、自形 - 半自形立方体状，光泽，硬度高。常见与石英、碳酸盐矿物、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿等共生。很少见到铀矿物呈浸染状分布于较自形的黄铁矿中，但在结晶较差的黄铁矿中可能吸附少量铀。

5.3. 矿物共生组合

在实验下观察，沥青铀矿多生长于其他脉石矿物(绿泥石、金红石等)表面或沿边缘生长。与沥青铀矿伴生的矿物有磷灰石、黄铁矿、绿泥石、金红石等。

铀石多呈粒状、浸染状与金红石、绿泥石和磷灰石等共生。粒径较小，铀石大多赋存于围岩裂隙及裂缝中，矿物基本上以独立矿物形式存在，周边常见钾长石、石英、磷灰石、绿泥石等。

钍铀矿主要呈浸染状、纤维状产于金红石或绿泥石中，或呈细小颗粒状紧密包裹于磷灰石中。钍铀矿基本生长于金红石中，多以独立矿物形式存在，较多钍铀矿围绕长石、石英、绿泥石等边缘生长，钍铀矿周围多见金红石、绿泥石、长石等。

6. 铀的赋存状态与浸采铀的意义

电子探针微区分析是目前最为可靠的微区化学成分分析手段之一，可以使矿物中元素的定性和定量分析的空间分辨率达到微米级水平[5]。

6.1. 铀呈独立铀矿物形式存在

主要有沥青铀矿、铀石、钍铀矿、铀钍石等。这些矿物呈粒状、不规则团块状、云雾状、斑点状、浸染状分布于钾长石、磷灰石、绿泥石、石英、黄铁矿等矿物的内部空隙中，有时铀矿物也呈细脉状、网脉状、纤维状产出，这些铀矿物在铀浸出过程中比较容易浸出，而浸染状的铀浸出比较困难。

6.2. 铀呈类质同象形式存在

U^{4+} 或铀酰离子与 REE^{4+} 、 Zr^{4+} 、 Th^{4+} 、 Ti^{4+} 和 Ca^{2+} 等离子半径相差不大，这种形式存在的铀较难浸出[6]，除铀钍石外，金红石和锆石 U 含量很低而作为副矿物它们本身含量也很低因此以类质同象存在的 U 对于选冶并无太大意义。

6.3. 铀呈吸附形式存在

U^{6+} 以 UO_2^{2+} 、 $UO_2(OH)^+$ 等形式被钾长石、绢云母、绿泥石、褐铁矿、有机质等吸附,使铀以吸附形式分散于矿物表面,产于矿床的蚀变带中,钾长石由于经受蚀变成为粘土矿物,容易吸附铀,而石英等不能吸附铀,故铀与钾长石、绿泥石等关系密切,但碍于电子探针分辨率及精度无法测定其成分和准确含量。

6.4. 铀浸采铀的意义

影响浸采铀的因素可分为两大类:一类为自然因素,另一类为工艺因素。自然因素主要指矿体的赋存状态及其特征,其对地浸采铀具有主导性影响。工艺因素为地浸采铀所采用的方法和手段,其对地浸采铀具有重要影响[7]。

7. 结论

大府上铀矿床矿石中的铀矿物以沥青铀矿为主,其次为铀石、钛铀矿和铀钍石等。其中主要有用矿石矿物是沥青铀矿。原矿的脉石矿物有石英、长石、云母、绿泥石、等。金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿,副矿物有锆石、金红石、磷灰石等。脉石矿物可分为硅酸盐矿物和碳酸盐类矿物。在浸出的不同阶段,铀矿物的化学成分总的变化趋势是随浸出进行,变化规律均不明显。脉石矿物以硅铝成分为主,钙、铁质量分数均不高,采用常规方法难以浸出。故以酸法浸出铀较为适宜。

参考文献 (References)

- [1] 刘杰, 聂逢君, 侯树仁, 等. 中新生代盆地砂岩型铀矿床铀矿物类型及赋存状态[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2013, 36(2): 107-113.
- [2] 张文彬, 宋焕斌. 工艺矿物学在云南主要矿产开发利用中的作用[J]. 昆明理工大学学报, 1999, 24(1): 1-6.
- [3] 张晓文, 周耀辉, 刘耀池, 等. 我国铀矿冶工业与技术进步[J]. 中国矿业, 2003, 12(12): 4-6.
- [4] 周乐光. 工艺矿物学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [5] 周乐光. 工艺矿物学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 137-140.
- [6] 刘成东, 武翠莲, 刘超, 等. 云际矿床铀矿石工艺矿物学研究[J]. 铀矿冶, 2010, 29(4): 185-191.
- [7] 易卫平, 周泉, 余芸珍, 等. 地浸采铀浸出液铀质量浓度预测研究[J]. 铀矿冶, 2005, 24(3): 135-139.