

# 复杂组分砂岩铀矿的浸出工艺优化研究

杨润生, 原 渊

(中核矿业科技集团有限公司, 北京 101149)

**摘要:**复杂组分砂岩铀矿主要由砾岩、砂岩和泥板岩构成, 铀矿物主要为铀石和钛铀矿, 包含少量沥青铀矿。研究了复杂组分砂岩铀矿的工艺矿物学, 并对浸出工艺进行了优化。结果表明: 矿石中大部分铀以四价形式存在, 且含有较多的钙、镁、铝、铁和碳酸盐。酸法浸出、强化浸出和柱浸试验结果表明: 酸法浸出工艺效果更好, 用 40~50 g/L  $H_2SO_4$  作为浸出剂时, 酸法柱浸的渣计浸出率均大于 90%。综合考虑, 建议工业生产采用 -10 mm 粒度矿石堆浸工艺, 浸出剂  $H_2SO_4$  质量浓度优选为 40 g/L。

**关键词:**铀矿; 复杂组分; 砂岩; 酸浸; 柱浸; 堆浸

**中图分类号:**TL212; TF803.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2617(2025)04-0482-07

**DOI:**10.13355/j.cnki.sfyj.2025.04.007

在全球能源格局不断调整、对清洁能源需求愈发迫切的大背景下, 核电因具有高效、清洁等优势, 成为了最具潜力的一种新型能源<sup>[1]</sup>。天然铀作为核电的核心材料, 其稳定供应对于核电产业的可持续发展至关重要, 因此, 为保障天然铀的供给, 加强对铀矿资源的勘探和开发力度十分必要。

当前, 砂岩型铀矿是天然铀供给的主力<sup>[1-2]</sup>。但我国部分探明的铀资源组分复杂、开采难度大, 矿石构成、铀矿物种类及铀的赋存状态独特, 使得传统的浸出工艺难以达到理想的开发效果<sup>[3-7]</sup>。因此, 对复杂组分砂岩铀矿浸出工艺的探索和研究是实现其经济开发、保障天然铀供给的关键所在。试验针对某复杂组分砂岩铀矿, 分析了其工艺矿物学, 并在此基础上对浸出工艺进行了优化, 以期复杂组分砂岩铀矿的高效开发提供技术参考。

## 1 试验部分

### 1.1 矿石原料

某复杂组分铀矿床为陆相沉积砂(砾)岩型铀矿床, 含矿岩性有砾岩、砂岩、泥板岩, 铀矿化产于钙质少、以石英为主要成分的黄铁矿化、多孔隙岩石, 以及胶结不坚固的砾岩层, 或裂隙发育的岩石中。矿床受油气运移、聚集过程中形成的后生还原带所控制<sup>[7]</sup>。矿石样品中铀矿物的种类主要为

铀石和钛铀矿, 以铀石为主, 含少量沥青铀矿。铀矿物的粒度小、不规则, 多分布于矿物间隙中, 与黄铁矿伴生在一起, 既有产于黄铁矿外围的, 也有产于黄铁矿中间的。次生铀矿物主要有板菱铀矿、钒钙铀矿、矽镁铀矿和铜铀云母等<sup>[8]</sup>。

### 1.2 试剂及设备

主要试剂: 硫酸、盐酸、30% 双氧水、软锰矿( $MnO_2$ ), 均为分析纯; 水为去离子水。

主要设备: SHT-6C 型水浴恒温磁力搅拌器, 金坛市美特仪器制造有限公司; JJ224BFYC-R50 型精密分析天平; PHSJ-3F 型 pH 计; MPC601T 型抗化学腐蚀三级隔膜真空泵, 德国伊尔姆真空泵制造有限公司; 三角瓶(250、500 mL); 漏斗和滤纸等。

### 1.3 试验方法

称取 50 g(干质量)矿石样品置于 500 mL 三角瓶中, 用浓硫酸和去离子水配制一定浓度的硫酸溶液, 作为浸出剂。按照一定液固体积质量比将硫酸加入到三角瓶中后, 再将三角瓶置于恒温磁力搅拌器中, 在设定温度下开启搅拌, 浸出反应一定时间。待浸出结束后, 真空抽滤, 固液分离。之后采用电感耦合等离子体发射光谱法分析浸出液和尾渣中的铀及其他元素含量, 考察浸出过程各因素对铀浸出效果的影响。

收稿日期: 2025-06-02

第一作者简介: 杨润生(1981—), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为铀矿采冶、湿法冶金。

## 2 工艺矿物学分析

### 2.1 矿石的基本特征

矿石样品的岩性有灰色、灰黑色的钙质或弱钙质胶结砂砾岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、灰色泥岩等。组成矿化样品的碎屑物主要有石英、长石、各类岩屑、白云母等,黏土矿物有绿泥石、高岭石、伊利石等,此外还有一些黄铁矿、方解石、铀矿物等。室内岩石学用蔡司 Axiolmager. M2m 显微镜分析,结果如图 1~3 所示。可以看出:岩石主要类型为含砾石英砂岩,并以中砾-中粗砾岩型为主,呈兰蓝灰色、灰色;砾石呈棱角状,被泥包裹,主要成分有硅质岩、水母化泥岩、云母石英片岩和灰岩等;长石、石英等碎屑呈次棱角状,滚圆度较好;胶结物中以蚀变泥岩和细颗粒级黄铁矿居多。

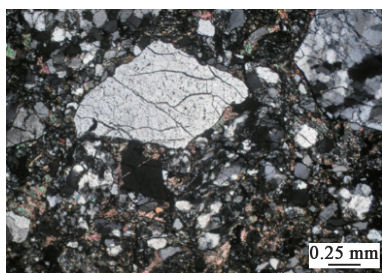


图 1 含砾石英砂岩正交偏光显微图像  
Fig. 1 Polarized light microscopic image of gravel quartz sandstone

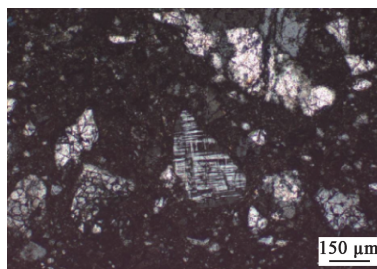


图 2 矿石碎屑岩相学特征  
Fig. 2 Petrographic characteristics of ore debris

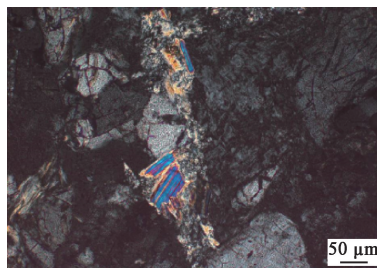
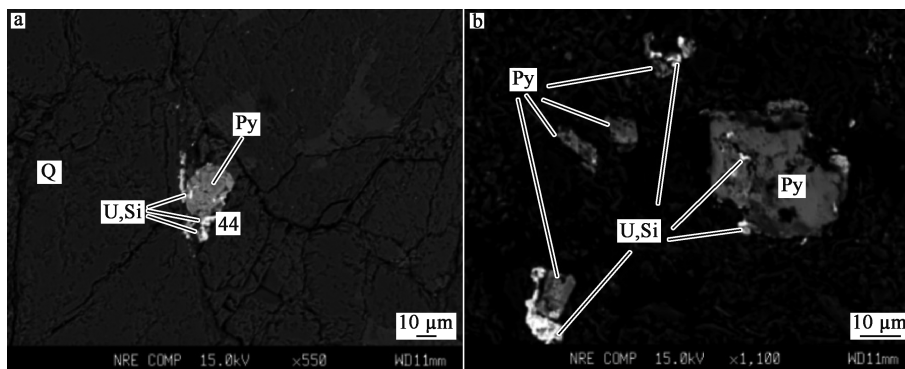


图 3 矿石中白云母岩相学特征  
Fig. 3 Petrographic characteristics of White mica in ore samples

### 2.2 铀的赋存状态

采用电子探针技术分析了该复杂组分砂岩铀矿中铀元素的相关特征。结果表明:矿石中的铀矿物以铀石、钛铀矿为主,并存有少量沥青铀矿;此外,矿石中还含有多种脉石矿物,包括石英、钾长石、方解石、钠长石、黄铁矿、金红石等。

铀石矿物的赋存特征如图 4 所示。



Py—黄铁矿;U,si—铀石;Q—石英。

图 4 铀石矿物的赋存特征  
Fig. 4 Occurrence characteristics of uranite minerals

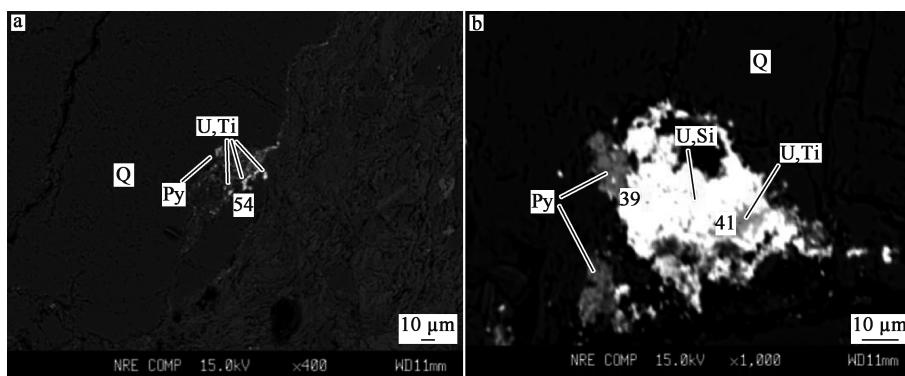
由图 4 看出:铀石主要呈不规则粒状、微脉状,沿石英、黄铁矿、方解石等矿物的边缘分布,或

分布在矿物间的胶结物中,粒径为1~5 μm,基本与黄铁矿共生,多产于黄铁矿边缘。

钛铀矿的赋存特征如图 5 所示。钛铀矿呈不规则粒状、团块状,多分布在矿物裂隙和间隙的胶结物中,主要与金红石、黄铁矿、铀石等共生。矿

物颗粒大小一般<10 μm。

沥青铀矿的赋存特征如图 6 所示。沥青铀矿呈胶粒状、胶状和微脉状分布在石英矿物颗粒边缘或胶结物中,矿物颗粒大小在 2~10 μm 之间,以小颗粒居多,与黄铁矿共生密切。



Py—黄铁矿;U, Si—铀石;Q—石英;U, Ti—铀石。

图 5 钛铀矿的赋存特征

Fig. 5 Occurrence characteristics of ilmenite

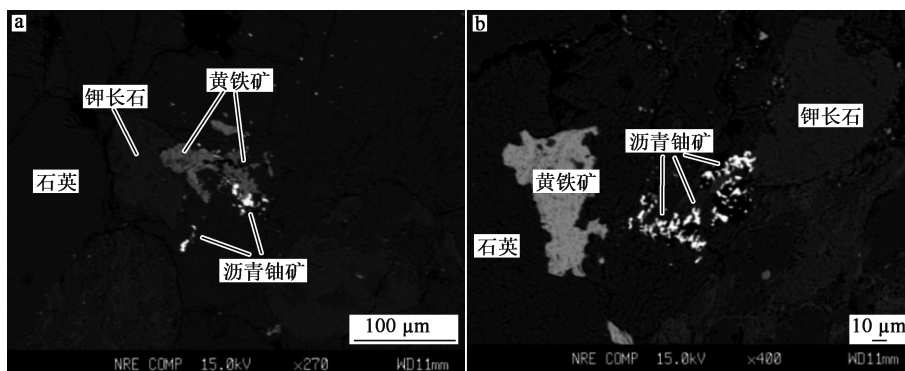


图 6 沥青铀矿的赋存特征

Fig. 6 Characteristics of occurrence of pitchblende

矿样的工艺矿物学分析结果说明,矿石组分中的耗酸物质较多,其浸出性能可能较差。

### 3 矿石浸出工艺研究

#### 3.1 化学分析

试验用矿石样品硬度较大,用木锤与铁锤均难以将其破碎至自然粒级,因此采用机械破磨法并按相关规范要求得到适于浸出的矿样。混合矿样的化学分析结果见表 1。

表 1 混合矿样的化学分析结果

Table 1 Chemical analysis results of mixed

mineral samples					%
U	U <sup>6+</sup>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.182	0.073	66.79	4.64	4.03	7.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>总</sub>	S <sub>总</sub>	烧失量	
2.50	2.98	3.63	0.71	9.40	

由表 1 看出:混合矿样中铀品位为 0.182%,六价铀占比为 40.1%;CaO、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及碳酸盐质量分数(以 CO<sub>2</sub> 计)较高,均大于 2%。

这些耗酸物质与慢耗酸物质会增加矿石浸出铀的酸耗。

### 3.2 酸法浸出试验

#### 3.2.1 酸浸剂的选择

在不添加氧化剂条件下,分别用硫酸和盐酸对矿样进行浸出,考察不同酸质量浓度对铀浸出

的影响,试验结果见表 2、3。试验条件:矿样 50 g,液固体积质量比 5/1,温度 18 ℃,浸出时间 48 h,搅拌速度 200 r/min。由表 2 看出:矿石酸耗较高,以 30 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为浸出剂时,浸出液中未见余酸;H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 质量浓度从 30 g/L 增至 60 g/L 时,渣计浸出率由 25.28% 提升至 82.48%。

表 2 不同硫酸质量浓度下的搅拌浸出试验结果

Table 2 Results of stirring leaching tests with different sulfuric acid mass concentrations

$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	pH	Eh/mV	$\rho(\text{U})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{余酸})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	渣品位/%	渣计浸出率/%	酸耗/(kg · t <sup>-1</sup> )
30	5.20	98	0.023	—	0.14	25.28	143.45
40	<1.0	366	0.271	5.62	0.07	62.99	165.28
50	<1.0	375	0.346	15.50	0.04	78.80	167.87
60	<1.0	380	0.354	23.70	0.03	82.48	178.91

表 3 不同盐酸质量浓度下的搅拌浸出试验结果

Table 3 Results of stirring leaching tests with different hydrochloric acid mass concentrations

$\rho(\text{HCl})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	pH	Eh/mV	$\rho(\text{U})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{余酸})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	渣品位/%	渣计浸出率/%	酸耗/(kg · t <sup>-1</sup> )
30	<1.0	379	0.181	2.66	0.108	51.55	120.05
40	<1.0	371	0.284	11.94	0.052	76.77	121.99
50	<1.0	372	0.305	20.22	0.048	78.57	125.25
60	<1.0	358	0.334	19.34	0.036	83.94	176.23

由表 3 看出:用 30 g/L HCl 作为浸出剂时,浸出液有余酸,但浸出率仅达 51.55%;随 HCl 质量浓度增大,渣计浸出率逐渐升高,在 HCl 质量浓度增至 60 g/L 时,渣计浸出率达 83.94%。

综上所述,以硫酸和盐酸作为浸出剂的浸出效果较为接近,但考虑到成本,以及氯离子引入对设备腐蚀性等因素,确定选择硫酸作为浸出剂。

#### 3.2.2 氧化剂的选择

矿石中四价铀占比达 60% 以上,由于四价铀

的化学活性相对较低,可能影响其在后续浸出过程中的反应效率,因此分别加入适量 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、软锰矿(MnO<sub>2</sub>)作为氧化剂,将四价铀氧化为六价铀,之后考察其对硫酸浸出效果的影响,结果见表 4、5。试验条件:矿样 50 g,液固体积质量比 5/1,室温(18 ℃),浸出剂为 50 g/L 硫酸,反应时间 48 h。

由表 4 看出:加入氧化剂 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对提高矿石浸出率有促进作用;H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 加入量为 1.5 g/L 时,渣计浸出率可达 85.47%。

表 4 不同 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 加入量下的搅拌浸出试验结果

Table 4 Results of stirring leaching tests with different H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> addition amounts

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 加入量/(g · L <sup>-1</sup> )	pH	Eh/mV	$\rho(\text{U})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{余酸})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	渣品位/%	渣计浸出率/%	酸耗/(kg · t <sup>-1</sup> )
0.0	<1.0	375	0.284	15.50	0.040	78.57	167.87
0.4	<1.0	359	0.300	14.65	0.033	83.04	171.33
0.8	<1.0	367	0.307	14.74	0.034	82.54	171.57
1.0	<1.0	377	0.310	14.75	0.032	83.52	171.45
1.5	<1.0	483	0.313	14.75	0.028	85.47	171.67
2.0	<1.0	488	0.312	14.75	0.029	85.47	171.61

表5 不同MnO<sub>2</sub>加入量下的搅拌浸出试验结果  
Table 5 Results of stirring leaching tests with different MnO<sub>2</sub> addition amounts

MnO <sub>2</sub> 加入量/(g·L <sup>-1</sup> )	pH	Eh/mV	ρ(U)/(g·L <sup>-1</sup> )	ρ(余酸)/(g·L <sup>-1</sup> )	渣品位/%	渣计浸出率/%	酸耗/(kg·t <sup>-1</sup> )
0.0	<1.0	375	0.284	15.50	0.040	78.57	167.87
0.4	<1.0	428	0.333	12.10	0.040	79.37	183.03
0.8	<1.0	465	0.333	12.10	0.040	79.45	182.65
1.0	<1.0	482	0.328	11.56	0.037	80.82	187.19
1.5	<1.0	497	0.323	12.10	0.038	80.04	184.22
2.0	<1.0	510	0.323	10.68	0.032	83.22	190.78

由表5看出:加入氧化剂MnO<sub>2</sub>,渣计浸出率略有提高;MnO<sub>2</sub>加入量为2.0g/L时,渣计浸出率为83.22%。

综上所述,以H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>和MnO<sub>2</sub>作为浸出剂的浸出效果较为接近,但考虑到试验稳定性及成本等因素,确定选择软锰矿(MnO<sub>2</sub>)作为氧化剂。

### 3.3 强化搅拌浸出试验

#### 3.3.1 浸出温度对浸出效果的影响

矿石中铀的氧化浸出一般为吸热反应<sup>[9]</sup>,为进一步提高浸出率,进行加温搅拌浸出。取-60目矿石100g,在硫酸加入量180kg/t、软锰矿加入量15kg/t、液固体积质量比1.5/1、浸出时间24h条件下,考察浸出温度对浸出效果的影响,结果见表6。可以看出:随温度升高,铀浸出率升高;温度升至60℃时,渣计浸出率达89.8%。说明温

度对浸出影响较明显,升高温度有利于提高铀浸出率。

#### 3.3.2 熟化浸出工艺研究

试验1:取-60目矿石100g,拌入18g硫酸,控制液固体积质量比0.24kg/1L,充分搅拌,于室温(18℃)下熟化96h,加清水(控制液固体积质量比1.5/1)搅拌30min,过滤、洗涤。

试验2:额外加入1.5g软锰矿,其他条件与试验1一致。

试验3:于60℃下熟化6h,其他条件和试验2一致。

拌酸熟化浸出试验结果见表7。可以看出:采用拌酸熟化浸出工艺能有效提高铀浸出效果,渣计浸出率可达87%以上;升高熟化温度,铀浸出率可得到进一步提高,达94.24%。

表6 浸出温度对浸出效果的影响

Table 6 Influence of leaching temperature on leaching effect

浸出温度/℃	浸出液			洗水		渣品位/%	渣计浸出率/%	酸耗/(kg·t <sup>-1</sup> )
	V/mL	Eh/mV	ρ(U)/(g·L <sup>-1</sup> )	V/mL	ρ(U)/(g·L <sup>-1</sup> )			
40	88	411	0.983	193	0.218	0.037	80.7	195.39
50	90	407	1.16	197	0.215	0.032	83.4	198.89
60	87	420	1.27	195	0.280	0.020	89.8	212.32

表7 拌酸熟化浸出试验结果

Table 7 Results of acid mixing maturation and leaching tests

试验序号	浸出液			洗水		渣品位/%	渣计浸出率/%
	V/mL	Eh/mV	ρ(U)/(g·L <sup>-1</sup> )	V/mL	ρ(U)/(g·L <sup>-1</sup> )		
1	90	355	1.07	190	0.325	0.025	87.10
2	90	426	1.09	190	0.355	0.018	90.96
3	87	472	1.17	192	0.375	0.011	94.24

### 3.4 柱浸试验

堆浸法提取铀具有投资少、建设期短、生产成本低等特点,且尾渣颗粒粗,含水率低,易于堆置处理,在我国硬岩矿山已得到广泛应用,是铀矿采冶主要工艺之一<sup>[10]</sup>。

柱浸试验是为了模拟堆浸生产实践进行的室内试验。通过柱浸试验基本上能获得作为资源评价所需参数。柱浸试验采用酸法浸出工艺,浸出剂在高位槽中通过管线从矿柱底部进入矿

层,浸出液从矿柱顶部流出。

柱浸试验包括 6 个试验柱:1<sup>#</sup> 柱浸出剂为 50 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1.0 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; 2<sup>#</sup> 柱浸出剂为 30 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1.0 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; 3<sup>#</sup> 柱浸出剂为 10 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 4<sup>#</sup> 柱浸出剂为 50 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 5<sup>#</sup> 柱浸出剂为 40 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1.0 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; 6<sup>#</sup> 柱浸出剂为 50 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1.0 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。6<sup>#</sup> 柱矿石粒径为 -10 mm,其他柱为 -5 mm。试验结束后,取渣样分析铀品位,计算浸出率,试验结果见表 8。

表 8 柱浸试验结果

Table 8 Column immersion test results

项目	1 <sup>#</sup> 柱	2 <sup>#</sup> 柱	3 <sup>#</sup> 柱	4 <sup>#</sup> 柱	5 <sup>#</sup> 柱	6 <sup>#</sup> 柱
矿石品位/%	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170
液固体积质量比/(L·kg <sup>-1</sup> )	7.98	9.50	12.6	9.16	9.48	8.18
液计浸出率/%	93.5	83.5	40.4	93.1	91.8	93.0
渣品位/%	0.009	0.036	0.110	0.012	0.015	0.011
渣计浸出率/%	92.3	81.1	39.2	91.6	91.1	91.2
酸耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	162.8	148.2	112.2	170.3	158.8	156.6

由表 8 看出,矿石浸出率受浸出剂 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 质量浓度影响较大;以 10 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为浸出剂时(3<sup>#</sup>),柱渣计浸出率仅为 39.2%;将 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 质量浓度增至 50 g/L 时(4<sup>#</sup>),柱渣计浸出率可提升至 91.6%;用 40~50 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为浸出剂时,渣计浸出率均大于 90%,可以满足生产要求;氧化剂的加入对浸出效果提升作用不明显;矿石粒度(-5 mm 与 -10 mm)对浸出效果影响较小;

1<sup>#</sup> 柱与 6<sup>#</sup> 柱的渣计浸出率、酸耗非常接近。

原矿样品与浸出渣样品组分的化学分析结果见表 9。可以看出:浸出后主要的耗酸物质与慢耗酸物质都伴随铀的浸出发生反应,反应顺序为碳酸盐>铀矿物>云母>绿泥石>长石。浸出过程中发现,矿石中的碳酸盐全部被消耗,其在浸出渣中未检测到,而含钙、镁、铁、铝的矿物部分被消耗。

表 9 原矿样与浸出渣样的主要化学成分

Table 9 Main chemical composition of raw ore sample and leaching slag sample

样品	U	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	烧失量
原矿	0.182	4.64	4.03	7.25	2.50	2.98	9.40
6 <sup>#</sup> 柱渣样	0.011	2.63	2.08	6.32	1.33	0.00	5.22

## 4 结论

1) 某复杂组分砂岩铀矿中铀品位较高,达 0.018%,其中六价铀约占 40%;Ca、Mg、Al、Fe 及碳酸盐含量较高,预测酸法浸出酸耗较高。

2) 酸法搅拌浸出、强化搅拌浸出和柱浸试验结果表明,酸法浸出效果相对较好,采用酸法柱浸,渣计浸出率可达 90% 以上。

3) 综合考虑各影响因素,工业开发的浸出工

艺建议采用 -10 mm 粒度矿石堆浸,浸出剂优选 40 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。

### 参考文献:

- [1] 赵凯,黎广荣,周义朋,等.砂岩型铀矿浸出研究进展[J].有色金属(冶炼部分),2019(6):40-48.  
ZHAO Kai, LI Guangrong, ZHOU Yipeng, et al. Research progress of leaching of sandstone-type uranium ore[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2019(6): 40-48.

- [2] 黎广荣,周义朋,赵凯,等.砂岩型铀矿浸出矿物工艺学研究进展[J].有色金属(冶炼部分),2021(8):9-19.  
LI Guangrong, ZHOU Yipeng, ZHAO Kai, et al. Research progress on mineral leaching technology of sandstone type uranium deposits[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2021(8):9-19.
- [3] 李春光.新疆某砂岩铀矿地浸开采关键技术及理论研究[D].衡阳:南华大学,2018.
- [4] 杨少武,许影,张万亮.中性地浸采铀催化浸出条件研究[J].湿法冶金,2023,42(4):367-371.  
YANG Shaowu, XU Ying, ZHANG Wanliang. Catalytic leaching conditions of neutral in-situ leaching uranium[J]. Hydrometallurgy of China, 2023, 42(4):367-371.
- [5] 王立民,廖文胜,谭亚辉,等.某砂岩铀矿石低酸氧浸试验研究[J].铀矿冶,2020,39(3):191-197.  
WANG Limin, LIAO Wensheng, TAN Yahui, et al. Study of leaching by rarefactive acid on sandstone uranium ore[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2020, 39(3):191-197.
- [6] 常喜信,钟平汝,李铁球,等.某难处理铀矿石加压酸浸试验研究[J].湿法冶金,2015,34(3):204-207.  
CHANG Xixin, ZHONG Pingru, LI Tiejie, et al. Pressure acid leaching of a refractory uranium ore[J]. Hydrometallurgy of China, 2015, 34(3):204-207.
- [7] 周新源,罗金海,买光荣,等.塔里木盆地喀什凹陷及其周边地区构造特征与油气地质[M].北京:石油工业出版社,2005.
- [8] 张忠平,李盛富,鲁克改.巴什布拉克矿床下白垩统克孜勒苏群岩性岩相特征[C]//中国核学会.中国核学会2013年学术年会论文集:第1册 铀矿地质分卷.哈尔滨:中国原子能出版社,2013:47-54.
- [9] 孙超伦,王晓方,潘启发,等.XPS研究金属铀氧化反应动力学[J].真空科学与技术学报,2019,39(12):1154-1156.  
SUN Chaolun, WANG Xiaofang, PAN Qifa, et al. Uranium oxidation kinetics: an X-ray photoelectron spectroscopy study [J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2019, 39(12):1154-1156.
- [10] 李建华,向秋林,毛拥军.破碎花岗岩型铀矿石的酸法制粒堆浸[J].铀矿冶,2004,23(3):134-137.  
LI Jianhua, XIANG Qiulin, MAO Yongjun. Acidic heap leaching of cracked granite type uranium ore by agglomeration[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2004, 23(3):134-137.

## Optimization of Leaching Process for Complex Component Sandstone Uranium Ore

YANG Runsheng, YUAN Yuan

(China Nuclear Mining Science and Technology Corporation, Beijing 101149, China)

**Abstract:** Complex component sandstone-uranium deposits are mainly composed of conglomerate, sandstone and Slate. The uranium minerals are mainly uranite and titanium-uranium ores, including a small amount of pitchblende. The process mineralogy of complex component sandstone uranium ore was studied, and the leaching process was optimized. The results show that most of the uranium in the ore exists in the tetravalent form, and it contains a relatively large amount of calcium, magnesium, aluminium, iron and carbonate. The test results of acid leaching, enhanced leaching and column leaching show that the acid leaching process has a better effect. When 40~50 g/L  $H_2SO_4$  is used as the leaching agent, the slag leaching rate of the acid column leaching is all greater than 90%. Comprehensively considered, it is recommended that the heap leaching process of 10 mm particle size ore be adopted in industrial production, and the mass concentration of the leaching agent  $H_2SO_4$  is preferably 40 g/L.

**Key words:** uranium ore; complex components; sandstone; acid leaching; column leaching; heap leaching