

南方某铀矿床高含泥量矿石搅拌浸出试验研究

谭 雄^{1,2}, 叶勇军¹, 刘再道², 谭建华², 尹安松¹

(1.南华大学 环境保护与安全工程学院,湖南 衡阳 421001;2.中核韶关锦原铀业有限公司,广东 韶关 512329)

摘 要:南方某铀矿床的矿石为高含泥量碎裂花岗岩型矿石,采用常规的堆浸技术,存在渗透性差、浸出率低、浸出周期长等一系列问题.为此,本次研究通过进行搅拌浸出试验,探求合理的工艺技术参数.试验研究取得了满意的结果,通过对高含泥量碎裂花岗岩型铀矿石开展搅拌浸出试验,获得了合理的技术参数和优化条件,铀浸出率可达95%以上,为今后开展现场扩大试验打下了基础,并对该类型的铀矿石缩短浸出时间,提高铀浸出率,最大限度的提高铀资源回收率和经济效益有重要研究意义.

关键词:铀矿石;搅拌浸出;试验研究

中图分类号:TL212.1⁺2 **文献标识码:**B

The Agitation Leach Experiments of High Silt Content Uranium Deposit Ore in the South of China

TAN Xiong^{1,2}, YE Yong-jun¹, LIU Zai-dao², TAN Jian-hua², YIN An-song¹

(1.School of Environmental Protection and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2.Shaoguan Kam Original Uranium Nuclear Industry Coporation Ltd., Saoguan, Guangdong 512329, China)

Abstract: The ore of a uranium deposit in the south of China is a high-content-type ore, with a series of problems, such as low permeability, low leaching rate and long leaching period. This study through the agitation leaching test, explores reasonable technical parameters. It achieved satisfactory results. Through carrying out agitation leaching to high mud weight cataclastic granite type uranium ore, reasonable technology parameters and the optimized conditions were obtained, uranium leaching rate reached 95% above, which laid the foundation for the future field enlarged experiment and is significant for shortening the leaching time, improving the leaching rate, recovery rate and economic benefit.

key words: uranium ore; agitation leaching; experimental research

收稿日期:2016-01-05

作者简介:谭 雄(1981-),男,湖南益阳人,南华大学环境保护与安全工程学院硕士研究生,工程师.主要研究方向:铀矿山项目建设管理.

0 引言

近年来,随着我国核电的快速发展和国防建设的需要,国家对天然铀的需求量日益增加,这对铀矿冶产业的发展既是机遇,同时也是挑战.在这样的背景下,我国铀矿冶产业应该迅速整合生产技术、提高生产能力、降低生产成本.该南方某铀矿床的开发已纳入统一规划,需尽快开发建设.早在上世纪末,原核工业六所就已对该铀矿床的矿石进行了堆浸工艺研究.该铀矿床的矿石由于含泥量高、渗透性差而无法采用普通的堆浸工艺.

上世纪80年代之前,我国铀矿冶企业主要采用常规搅拌浸出工艺来提取天然铀,这种方法的优点是铀浸出率高,但是操作成本也很高.随着地浸和堆浸技术的成功试验,常规的工艺也随之被取代.我国大部分铀矿山具有矿化类型多、规模小、埋藏浅、品位低的特点^[1],因此,堆浸技术在我国应用的比较广泛.目前,我国天然铀生产工艺主要包括堆浸、地浸、原地爆破浸出以及它们与细菌浸铀技术相结合的工艺等^[2-5],但堆浸技术是目前我国天然铀生产的主体技术^[6-8].堆浸技术有很多优点,但也有自身不可克服的缺陷,比如受外部环境的影响较大,难以像搅拌浸出那样实现均衡和稳定生产,铀浸出率相对较低,更重要的是堆浸的适应性有限.堆浸对铀矿物包裹、浸出性差的矿石可采取的手段有限^[9-10].

我国铀资源种类很多,各矿床条件和矿石性质变化很大,相应的处理工艺也不尽相同.矿石的处理工艺流程主要是由矿床条件和矿石性质决定的.没有一种技术和工艺是万能的,只有多种工艺流程才能适应不同的矿石要求.所以说,针对该铀矿床高含泥量矿石的浸出工艺进行试验研究很有必要.本次研究通过进行搅拌浸出试验,探求合理的工艺技术参数,缩短浸出时间,提高铀浸出率,最大限度的提高铀资源回收率和经济效益,为该铀矿床的铀水冶生产线建设提供理论依据.

1 矿体特征及矿石特性

1.1 矿体特征

该铀矿床位于花岗岩体中,构造密集发育,矿体形态较复杂,主要呈透镜状和脉状,少量呈掌状和扁豆状,走向不尽一致,倾角60°左右,矿体埋藏深度0~400 m.矿岩破碎,矿体的直接围岩为散体结构、碎裂结构和镶嵌结构,稳定性差,冒顶现象极为严重.

1.2 矿石特性

1.2.1 矿石类型

根据地质报告,该铀矿床的矿石可划分为以下几种类型:

1) 碎裂花岗岩型:矿石品位不高,厚度较大,延伸比较稳定,是本矿床的主要矿石类型.铀主要呈钙铀云母和硅钙铀形式存在.

2) 角砾岩型:又在各亚类中均呈次生铀矿和吸附分散状存在.

3) 角砾糜棱岩型:常在含矿构造的膨胀部位出现.铀主要呈两种铀云母紧密共生分布在交代糜棱化岩屑的微晶石英、玉髓中,一种呈片状、纤维状集合体,另一种为板状及不规则状.

4) 花岗碎裂岩型:分布于矿带的核心.

5) 构造泥型:分布于构造膨胀、构造岩类型发育相对齐全的部位.铀以次生矿物形式呈分散状分布或被铁锰泥质吸附.

矿石体重2.43,松散系数1.5,硬度系数8~12,含泥量约26%,渗透性较差.

1.2.2 矿物组成

该铀矿床的铀矿石矿物组成较为简单.与铀共生或伴生的主要非金属矿物有:萤石、石英、玉髓、方解石、辉沸石;金属矿物有:赤铁矿、褐铁矿、复水锰矿以及少量黄铁矿.铀矿物主要是次生铀矿.

该矿床为单铀型矿床,可以分为硅化与去硅化矿石两类,未发现其它可以综合利用的矿物.硅化矿石SiO₂含量为79.54%,铀平均含量为0.240%,去硅化矿石SiO₂含量为59.51%,铀平均含量为0.558%.

2 铀金属提取问题

该铀矿床的矿石为高含泥量硬岩矿石,含泥量平均达26%.采用常规的堆浸技术,存在渗透性差、浸出率低(约65%)、浸出周期长、生产能力受限、环境效益差等一系列问题.

3 矿石搅拌浸出试验

3.1 矿石准备

3.1.1 样品制备

共采取样品100 kg,先破碎至-10 mm.采用四分法缩分出50 kg作为试验样品,其余50 kg作为副样.先将试验样品破碎至-5 mm,然后再采用四分法缩分出25 kg,破碎到-1 mm,将矿石混合均匀,缩分成8份,其中4份分别磨至-35 nm、-65 nm、-100 nm和-200 nm进行粒度条件试验

和分析之用.另外 25 kg 样品,在确定合适浸出粒度后,磨至所需粒度,进行其它浸出条件试验.

3.1.2 矿石化学组成

铀矿石主要化学成分分析结果见表 1.

表 1 铀矿石矿样分析结果

Table 1 Uranium ore samples analysis results

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	Mg	Mn
结果	67.3	13.2	1.31	0.076	2.84	0.62	1.53
成分	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	Mo	F	U	烧失量
结果	0.31	3.49	2.34	0.040	3.25	0.240	4.03

从矿石主要成分看,钙镁含量较低,因此本次试验拟采用酸法浸出.

试验条件:矿石量为 100 g,粒度为 -100 nm,原矿品位为 0.24%.液固比为 2:1,常温搅拌 2 h.分别用不同浓度的硫酸进行浸出,试验结果见表 2.

3.2 搅拌浸出条件试验

3.2.1 硫酸用量试验

表 2 硫酸用量试验结果

Table 2 Test results of sulfuric acid

硫酸浓度/(g·L ⁻¹)	浸出液 pH	余酸/(g·L ⁻¹)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
10	3.26	<0.010	-254	0.024 4	88.44	89.83
20	1.91	3.96	-370	0.019 8	95.22	91.75
25	1.39	4.84	-378	0.006 7	94.64	97.21
30	1.23	6.25	-384	0.005 5	96.39	97.71
35	1.15	7.75	-380	0.006 9	95.52	97.13
40	0.81	19.07	-382	0.011 3	100.00	95.29
50	0.67	27.65	-382	0.010 0	99.04	95.83

从上表可以看出,当硫酸浓度为 25 g/L,浸出率可达 97%以上,继续增加硫酸浓度,对浸出率的影响不大,因此确定下列条件试验的硫酸浓度为 25 g/L.

3.2.2 粒度试验

试验条件:矿石量为 100 g,原矿品位为 0.24%.固定液固比为 2:1,常温搅拌 2 h.分别用不同粒度的矿石进行浸出试验.结果如表 3 所示.

表 3 粒度对浸出的影响

Table 3 Effect of particle size on leaching

矿石粒度/nm 数	浸出液 pH	余酸/(g·L ⁻¹)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
-35	1.22	6.67	-417	0.006 5	99.09	97.29
-65	1.40	4.77	-399	0.005 2	99.26	97.83
-100	1.42	2.86	-375	0.010 0	93.74	95.83
-200	2.09	0.953	-354	0.011 0	93.61	95.42

上述试验结果表明,矿石粒度对浸出率影响不大.

原矿品位为 0.24%,在常温下搅拌 2 h.固定硫酸浓度为 25 g/L,液固比为 2:1,加入不同量的 MnO₂ 进行试验.试验结果见表 4.

3.2.3 氧化剂试验

试验条件:矿石量为 100 g,粒度为 -100 nm,

表4 MnO_2 作氧化剂的浸出试验
Table 4 Leaching test of MnO_2 as oxidant

氧化剂用量/%	浸出液 pH	余酸/($g \cdot L^{-1}$)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
0	1.39	4.84	-378	0.006 7	94.64	97.21
0.4	1.30	3.58	-397	0.012 1	95.10	94.96
0.6	1.35	4.05	-405	0.008 0	98.24	96.67
0.8	1.36	4.05	-404	0.013 0	95.79	94.58
1.0	1.36	4.29	-422	0.007 4	95.85	96.92

由试验结果可以看出,加入氧化剂浸出与不加氧化剂浸出对浸出率的影响不大。

矿品位为 0.24%, 常温搅拌 2 h. 分别用不同液固比进行浸出试验. 试验结果见表 5.

3.2.4 液固比试验

试验条件: 矿石量为 100 g, 粒度为 -65 nm, 原

表5 液固比试验结果
Table 5 Results of liquid to solid ratio test

液固比	硫酸浓度/($g \cdot L^{-1}$)	浸出液 pH	余酸/($g \cdot L^{-1}$)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
1 : 1	50	1.11	18.6	-404	0.021 0	94.58	91.25
1.5 : 1	33	1.01	16.2	-405	0.010 0	98.71	95.83
2 : 1	25	1.03	10.5	-411	0.007 4	98.21	96.92

试验结果表明,液固比为 1.5 : 1 时,渣计浸出率达到 95%, 继续增加浸出液固比,对浸出率影响不大。

试验条件: 矿石量为 100 g, 粒度为 -100 nm, 原矿品位为 0.24%, 液固比为 1.5 : 1, 在常温下对矿石进行浸出时间试验, 试验结果见表 6.

3.2.5 浸出时间试验

表6 时间对浸出的影响
Table 6 Effect of time on leaching

时间/h	浸出液 pH	余酸/($g \cdot L^{-1}$)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
1	1.31	3.81	-382	0.006 4	95.22	97.33
2	1.36	4.05	-384	0.006 0	95.18	97.50
3	1.40	3.91	-381	0.007 9	96.25	96.71
4	1.39	3.34	-385	0.006 0	96.56	97.50

从试验结果可以看出,搅拌时间为 2 h 时,浸出率可达到 97.5%, 渣品位在 0.006% 以下,若浸出时间继续增加对渣品位降低影响不大。

试验条件: 矿石量为 100 g, 粒度为 -100 nm, 原矿品位为 0.24%. 固定搅拌时间 2 h. 分别在不同温度下进行浸出试验. 试验结果如表 7 所示.

3.2.6 浸出温度试验

表7 温度对浸出的影响
Table 7 Effect of temperature on leaching

浸出温度/ $^{\circ}C$	浸出液 pH	余酸/($g \cdot L^{-1}$)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
常温	1.36	4.05	-384	0.006 0	95.18	97.50
40	1.21	7.96	-410	0.006 6	98.78	97.33
60	1.26	6.91	-427	0.004 2	99.58	98.30

试验结果表明,温度对浸出率的影响不大,因此选择常温浸出.

3.2.7 优化条件平行试验

根据前面所做条件试验结果,初步确定浸出优化条件为:

粒度:-65 nm

搅拌时间:2 h

硫酸浓度:25 g/L

液固比:1.5:1

反应温度:常温

根据上述条件进行相同条件的平行试验,确定试验结果的再现性和可靠性,试验结果见表8.

表8 优化条件平行试验结果

Table 8 Experimental results of optimization

平行试验	浸出液 pH	余酸/(g · L ⁻¹)	电位/mV	渣品位/%	液计浸出率/%	渣计浸出率/%
1	1.39	4.87	-388	0.005 2	98.26	97.83
2	1.37	4.62	-379	0.006 4	99.20	97.33
3	1.42	4.57	-385	0.007 1	98.89	97.04

从表8可以看出,通过平行试验在前述条件下矿石浸出率达到97%以上,渣品位在0.007%左右.平行试验结果验证了前述条件试验所选的试验参数,所得结果误差很小,反映了该矿石的浸出性能.

4 结 论

1) 该铀矿石采用酸法浸出是合适的,浸出性能很好,浸出率可达95%以上.

2) 矿石酸耗低,约为3.5%,所需余酸也低,小于5 g/L.

3) 矿石氧化性能好,无需添加氧化剂,即可达到很好的浸出效果.

4) 矿石粒度对浸出率影响不大,今后在现场扩大试验中尽可能采用粒级进行试验,考察其浸出效果以及对固液分离的影响.

5) 采用液固比1.5:1比较合适,对以后工序提高浸出液铀浓度、降低废水处理费用有利.

我国在已探明的储量中,高含泥量硬岩铀矿石占有一定比例,因而尽快改进完善高含泥量硬岩铀矿石的水冶处理工艺,提高浸出率,充分回收提取铀金属,是国内铀矿冶产业面临的重大课题.

参考文献:

- [1] 刘建,樊保团,孟运生,等.降低堆浸渣品位的途径与措施[J].铀矿冶,2009,28(4):176-180.
- [2] 全爱国,欧阳建功.我国原地爆破浸出开采及其发展前景[J].铀矿冶,2001,20(1):1-5.
- [3] 郑志宏,邓靖,刘亚洁,等.酸化预处理对细菌浸铀的影响[J].矿业研究与开发,2007,27(2):39-41.
- [4] 胡凯光,李传乙,黄爱武,等.湖南某矿细菌浸铀[J].矿冶,2003,12(2):10-13.
- [5] 宋键斌.铀矿石酸法地表堆浸动力学研究[D].衡阳:南华大学,2013.
- [6] 田原,关自斌,高仁喜.铀、金矿石的堆浸技术进展[J].铀矿冶,1998,17(2):121-126.
- [7] 李建华.中国铀矿堆浸的技术现状与发展[C]//中国核科学技术进展报告:第一卷.北京:原子能出版社,2009:74-78.
- [8] 曾毅君.酸法制粒堆浸研究的现状、原理与实践[J].铀矿冶,2004,23(4):175-181.
- [9] Dixon D G, Hendrix J L. A mathematical model for heap leaching of one or more solid reactants from porous ore pellets [J]. Metallurgical Transactions B, 1993, 24(6): 1087-1102.
- [10] Dixon D G, Hendrix J L. A general model for leaching of one or more solids reactants from porous ore pellets [J]. Metallurgical Transactions B, 1993, 24(1): 157-169.