

文章编号: 1005- 2712(2001) 01- 0041- 04

离子型稀土原地浸矿工艺对环境影响的研究

杜 雯

(赣州有色冶金研究所, 江西 赣州 341000)

摘 要: 针对原地浸矿新工艺及池浸工艺生产稀土的不同环境影响, 进行了龙南、寻乌两试验矿块的水、土壤环境质量监测, 指出原地浸矿新工艺对水、土壤环境质量影响甚小。经测算, 原地浸矿新工艺的环境代价为每吨氧化稀土产品可创效益 3 300~ 3 800 元, 从环境经济效益角度, 提出原地浸矿工艺的可推广性。

关键词: 原地浸矿; 环境监测; 经济效益

中图分类号: X832; X833

文献标识码: A

矿产资源是人类文明必需的物质基础, 然而矿产的开发常常给生态环境和身体健康带来多种不利影响, 如环境影响、水土流失。事实证明, 一些国家和地区的环境污染状况与该国家和地区的矿产资源消耗相一致。所以开发矿产资源所面临的环境问题引起各国的重视, 一方面要合理开发, 另一方面要保护矿山环境, 防止污染。

离子型稀土原地浸矿工艺是用溶浸剂, 从天然埋藏条件下的非均质矿体中有选择地浸出其中有用成分的采矿方法。与池浸工艺相比, 不但稀土回收率较高, 而且基本不破坏山林、农田与地貌。在减少环境污染方面有明显的优势。

赣州有色冶金研究所于 1993 年 8 月~ 11 月和 1994 年 9 月~ 1995 年 1 月, 先后在龙南、寻乌两个矿山开展了万吨级的原地浸矿现场试验, 由于两稀土矿均于 70 年代起即使用池浸工艺开采, 故此次原地浸矿新工艺试验矿块所处的环境, 实际上系已污染的环境。通过对原地浸矿新工艺实施前后环境状况的比较以及池浸工艺环境现状的比较, 对原地浸矿新工艺的环境影响进行研究, 考虑到新旧工艺均无有毒有害气体产生, 故未作大气环境影响调查。

1 原地浸矿新工艺试验流程

原地浸矿新工艺是由地质勘探探明矿藏储量, 经科学计算, 划分矿块, 开掘若干渗井, 注入硫酸铵溶液浸矿, 使稀土转入溶液, 再由顶水将稀土顶出,

稀土母液泵送下一道工序, 沉淀回收稀土后, 连同 REO 小于 0. 1g/L 的浸出液, 调整硫酸铵浓度返回浸矿。

2 水与土壤环境质量研究方法

水与土壤环境质量状况的监测数据, 按环境质量指数法进行处理, 以评价环境质量。监测的分析方法按《环境监测分析方法》实施。

质量指数按下式计算:

(1) 分指数

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

P_i ——某污染物的分指数;

C_i ——某污染物的实测数;

S_i ——某污染物的评价标准。

(2) 综合质量指数

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

P ——某要素的综合质量指数;

n ——参加评价的污染物(评价参数)的项目数。

水质的评价标准, 选取《地面环境质量标准(V 类)》(GB3838- 88)。

鉴于国内外目前还没有比较系统和完整的土壤环境质量标准, 参照文献[1] 所列“中国土壤元素背景值”, 取而代之的 95% 置信度范围的上限为此次评价土壤环境质量的标准值。

收稿日期: 2000- 12- 28

作者简介: 杜 雯(1957-), 女, 湖南涟源人, 赣州有色冶金研究所工程师, 主要从事环保及管理工作。

3 水环境质量监测

水、地下渗水以及池浸工艺尾矿坝外排水等进行水环境监测,监测项目除常规项目外,还加测NH⁺₄或Na以及稀土共 15 项,结果见表 1、表 2。

分别对龙南、寻乌两试验矿块周围地表水、河表 1 数据显示,试验前的地表水除 Hg 及北面

表 1 龙南矿区水质监测结果 mg/L

监测项目	地面水 环境质 量标准 (V)类S _i	试验前西区地表水				试验后西区地表水				试验前北区地表水				试验后北区地表水				池浸工艺尾矿坝 外排水正常时				池浸工艺尾矿坝 外排水不正常时			
		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i	
		浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i
pH	6~9	6.63	0.58	6.66	0.56	6.38	0.74	7.08	0.26	7.16	0.23	6.84	0.44												
Cu	1.0	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03												
Pb	0.1	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5												
Zn	2.0	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005												
Cd	0.01	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1												
Cr ⁶⁺	0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1												
As	0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1												
Hg	0.001	0.0019	1.9	<0.0005	<0.5	0.0015	1.5	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5												
F	1.5	0.8	0.53	0.40	0.27	1.22	0.81	0.28	0.19	0.41	0.27	0.4	0.26												
SO ²⁻ ₄	250	<5.0	<0.02	<5	<0.02	<5	<0.02	<5	<0.02	35	0.14	80	0.32												
溶解性总 固体	1000*	58.0	0.058	52	0.052	67.0	0.067	35.0	0.035	120	0.12	230	0.23												
COD	25	3.78	0.15	<2	<0.08	26.45	1.1	3.62	0.14	<2	<0.08	<2.0	<0.08												
悬浮物	50**			3.0	0.06			4.0	0.08	5.0	0.1	481	9.62												
RE		0.27		0.18		0.32		0.05		2.4		7.32													
NH ⁺ ₄		0.06		0.24		0.80		0.28		8.0		25.0													
综合质量指数P			0.41		0.25		0.50		0.23		0.25		0.97												

此项环境质量标准参照生活饮用水卫生标准 (GB5749- 85)。
此项环境质量标准参照日本水质标准关于保护生活环境河流水质中“三级水产区,一级工业水源”的规定。

表 2 寻乌矿区水质监测结果 mg/L

监测项目	地面水 环境质 量标准 (V)类S _i	试验前河水				试验时河水				试验前地下渗水				试验时地下渗水				试验时矿块周围 地表水				池浸工艺尾矿 坝外排水			
		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i		浓度C _i		C _i /S _i	
		浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i	浓度C _i	C _i /S _i
pH	6~9	7.34	0.11	8.65	0.77	7.22	0.17	8.17	0.45	7.26	0.16	5.14	1.57												
Cu	1.0	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03												
Pb	0.1	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5	<0.05	<0.5												
Zn	2.0	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005	<0.01	<0.005												
Cd	0.01	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1	<0.01	<1												
Cr ⁶⁺	0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1												
As	0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1												
Hg	0.001	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5	<0.0005	<0.5												
F	1.5	0.24	0.16	0.22	0.15	0.13	0.087	0.16	0.107	0.108	0.072	0.435	0.29												
SO ²⁻ ₄	250	<5	<0.02	<5	<0.02	<5	<0.02	<5	<0.02	12.0	0.048														
溶解性总 固体	1000*	50.0	0.05	78.0	0.078	39.0	0.039	66.0	0.066	37.0	0.037	1605	1.6												
COD	25	9.47	0.37	4.31	0.17	<2	<0.08	<2	<0.08	<2	<0.08	15.61	0.62												
悬浮物	50**	5.0	0.1	18.0	0.36	5.0	0.1	3.0	0.06	3.0	0.06	5918	118.4												
RE		0.58		0.145		0.68		0.203		<0.05		2.52													
NH ⁺ ₄		0.76		0.1		<0.05		<0.05		<0.05															
氟化物 Na	250											817.73	3.27												
综合质量指数P			0.23		0.29		0.21		0.23		0.21		10.04												

COD的质量指数略大于 1 外,其他项目均符合地面水环境质量标准(V)类的要求。试验后的样品中 Hg 及 COD 的质量指数均小于 1,稀土和氟离子浓度亦有下降,铵离子浓度没有显著变化,综合质量指数还有所下降。参照有关资料,见文献[2],从综合指数数

据判定,其水质属尚清洁的无污染水,说明原地浸矿新工艺不影响地表水的环境质量。

表 2 数据显示:试验前后的河水、地下水及试验过程中矿块周围的地表水的水质均符合地面水环境质量标准的要求,从综合质量指数数据判定,其水质

属清洁或尚清洁的无污染水。而池浸工艺的拦沙坝外排水, 在有标准对照的 13 个项目中, 就有 5 项超标, 其中悬浮物的分指数竟高达 118.4。参照有关资料, 综合质量指数大于 2 为严重污染, 而其综合质量指数为 10.04, 可见水质污染已相当严重。

4 土壤环境质量监测

池浸工艺对土壤环境质量的破坏, 主要表现在两个方面: ①其露采工艺, 通过砍伐植被, 剥离表土, 挖掘含矿风化层等程序, 从根本上改变了矿区的地形、地貌、植被及植物赖以生长的表土。据调查, 每生产 1t 混合氧化稀土, 采掘开挖破坏植被 0.017~

0.020hm²。②提取稀土后的大量尾矿及废弃土堆积于地表, 直接占用或破坏土地与农田。每生产 1t 混合氧化稀土产生废弃土及尾矿 1 500~ 2 400t, 以平均堆积厚度 8m 计, 堆积占地 0.020~ 0.033hm²。

原地浸矿新工艺需开挖的工程仅注液井、集液沟、工作平台 3 项。实际测算, 寻乌试验矿块工程侵占土地 0.038hm², 平均每吨氧化稀土需开挖及占用 0.0035hm², 龙南试验矿块未挖工作平台, 平均每吨氧化稀土仅需 0.001hm²。为了考查新工艺实施对土壤的影响情况, 于新工艺实施前后分别采集矿块周围稻田土壤进行测定, 以评价土壤环境质量, 测定结果见表 3、4。

表 3 龙南矿区稻田土壤监测结果 mg/kg

监测项目	土壤环境质量标准 S_i	试验前公路左侧		试验后公路左侧		试验前公路右侧		试验后公路右侧		试验前五车间后侧		试验后五车间后侧		试验前野猪湖		试验后野猪湖	
		浓度 C_i		浓度 C_i		浓度 C_i		浓度 C_i		浓度 C_i		浓度 C_i		浓度 C_i		浓度 C_i	
		C_i/S_i		C_i/S_i		C_i/S_i		C_i/S_i		C_i/S_i		C_i/S_i		C_i/S_i		C_i/S_i	
pH		5.86		5.68		5.91		5.85		6.04		6.2		6.27		5.28	
SO ₄ ²⁻		120.0		90.0		140.0		100.0		80.0		80.0		140.0		120.0	
Cu	55.1	3.1	0.056	4.4	0.08	3.52	0.064	5.0	0.091	3.25	0.059	4.3	0.078	10.15	0.184	15.18	0.275
Pd	56.1	141.1	2.51	84.15	1.5	135.1	2.41	107.6	1.92	153.1	2.73	128.9	2.3	146.4	2.61	108.4	1.93
Zn	161.1	67.25	0.417	43.25	0.27	67.62	0.42	46.5	0.289	88.75	0.551	53.75	0.334	98.25	0.61	62.5	0.388
Cd	0.333	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6	1.85	5.56	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6
总Cr	150.2	4.6	0.03	6.4	0.043	10.2	0.068	<0.2	0.013	16.6	0.111	4.0	0.027	15.4	0.103	40	0.266
As	33.5	<0.1	<0.03	9.5	0.284	<0.1	<0.03	10.2	0.304	7.2	0.215	4.9	0.146	7.2	0.215	9.5	0.284
Hg	0.272	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184	<0.05	<0.184
RE	330.2	240	0.727	295	0.893	310	0.939	240	0.727	280	0.848	195	0.591	230	0.697	240	0.727
F	1012	546	0.54	360	0.356	600	0.593	460	0.455	540	0.534	250	0.247	730	0.721	490	0.484
综合质量指数P		0.57		0.47		0.59		0.51		1.20		0.50		0.66		0.57	

表 4 龙南试验矿块试验后土壤监测结果 mg/kg

监测项目	土壤环境质量标准 S_i	东面		西面		北面	
		浓度 C_i	C_i/S_i	浓度 C_i	C_i/S_i	浓度 C_i	C_i/S_i
pH		5.4		5.3		5.16	
SO ₄ ²⁻		100		80		100	
Cu	55.1	4.3	0.078	6.63	0.12	4.0	0.073
Pb	56.1	122.4	2.18	189.5	3.38	165.9	2.96
Zn	161.1	47.5	0.295	85.2	0.529	63.7	0.396
Cd	0.333	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6	<0.2	<0.6
总Cr	150.2	49.6	0.33	25.6	0.17	<2.0	<0.013
As	33.5	2.7	0.081	6.6	0.197	2.7	0.081
Hg	0.272	0.1	0.368	0.07	0.257	<0.05	<0.184
RE	330.2	2245	6.8	1120	3.39	1400	4.24
F	1 012	990	0.978	500	0.494	500	0.494
综合质量指数P		1.30		1.02		1.00	

5 固体废弃物环境影响调查

固体废弃物又指水土流失, 池浸工艺引起的水土流失对环境的污染十分严重。一方面固体废弃物

淹埋或毁坏农田, 或泄入江河使河水泥沙量剧增, 水体严重污染; 另一方面松散的尾矿堆在暴雨的袭击下, 常发生滑坡及泥石流事故。

原地浸矿新工艺无尾矿排出, 固体废弃物主要是挖掘注液井、集液沟和工作平台的废弃土。经测

算, 两试验矿块平均生产 1t 氧化稀土的废弃土为 110m^3 左右, 约为池浸工艺的 5%。而在开采完毕后, 可用原固体废弃物填埋注液井并植树。

6 原地浸矿新工艺环境经济效益分析

原地浸矿新工艺环境经济效益等于原池浸工艺所付出的环境代价, 减去原地浸矿新工艺所付出的环境代价之差。

6.1 池浸工艺的环境代价

(1) 植被破坏补偿费, 以生产 1t 氧化稀土采掘开挖破坏植被 $0.017\sim 0.020\text{hm}^2$ 计算, 又经有关部门测算, 植被补偿费需 $3\,750\text{元}/\text{hm}^2$ (包括林木种苗费、打穴种植费、草种费、草种直播费、抚育管理费等), 每吨稀土产品应收补偿费 $63\sim 75\text{元}$ 。

(2) 拦沙坝设施投资及运转管理费用, 经有关部门测算每吨稀土需花费约 $2\,400\text{元}$ 。

(3) 采空区及尾沙堆场复垦费, 据调查每生产 1t 混合氧化稀土产生废弃土及尾矿 $1\,500\sim 2\,400\text{t}$, 以平均堆积厚度 8m 计, 堆积占地 $0.020\sim 0.033\text{hm}^2$, 包括开挖面积等破坏植被及侵占土地 $0.037\sim 0.053\text{hm}^2$, 经有关部门测算每吨复垦费约 $1\,900\text{元}$ 。因此, 每吨氧化稀土产品应支付复垦费约 $1\,045\sim 1\,520\text{元}$ 。

6.2 原地浸矿新工艺的环境代价

以每吨氧化稀土破坏植被面积 0.0035hm^2 计,

应支付植被破坏补偿费 13元 , 复垦费约 99元 。经上述计算, 池浸工艺的环境代价为每吨氧化稀土产品 $3\,508\sim 3\,995\text{元}$, 而原地浸矿新工艺为 112元 , 即原地浸矿新工艺每吨氧化稀土产品可创环境经济效益 $3\,300\sim 3\,800\text{元}$ 。

7 结 论

(1) 通过对原地浸矿新工艺实施前后水质、土壤的监测得出: 浸矿后地表水的质量指数和综合质量指数以及矿区外围土壤的综合质量指数均小于 1, 且与浸矿前比较无显著差异, 据此可论定原地浸矿新工艺对水及土壤环境质量影响甚小。

(2) 原地浸矿新工艺浸矿过程封闭于矿块内进行, 基本上不破坏地形、地貌, 无尾矿外排, 其开挖及废弃土堆破坏植被面积仅为池浸工艺的 $6\%\sim 9\%$, 且较易恢复, 因而不存在池浸工艺所引起的水土流失及生态环境破坏等严重危害, 以生产 1t 氧化稀土计, 可创环境经济效益 $3\,300\sim 3\,800\text{元}$, 其环境效益、经济效益十分显著。为保护环境、保护资源, 应积极推广原地浸矿新工艺。

参考文献:

- [1] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 8~9.
- [2] 环境工作者实用手册组. 环境工作者实用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987: 7.

The impact of in-situ leaching on the natural environment of ion-type RE mine

DU Wen

(Ganzhou Nonferrous Metallurgy Research Institute, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: Focus on the different environmental impact in the process of producing RE between in-situ leaching and pond leaching, the quality monitoring on water and soil were done in the experimented mineral field of Longnan and Xunwu. The monitoring results showed that the impact of in-situ leaching on natural environment was very little but the impact of pond leaching on environment was very greatly. In-situ leaching can bring good economic profits in producing RE oxides from preventing the loss of water and erosion of soil, so we must spread this leaching technology.

Key words: in-situ leaching; environment monitoring; economic profit