

# 离子型稀土矿开采污染防治

张 诚<sup>1</sup> 张启军<sup>2</sup> 黄 彬<sup>1</sup>

(1. 赣州稀土集团有限公司, 江西 赣州 341099; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘 要]** 南方离子型稀土矿的开采工艺经历了池浸、堆浸工艺的沿革, 目前采用原地浸矿工艺。原地浸矿开采工艺具有不破坏地表植物、不产生尾渣等优势, 但仍存在滑坡、地表水和浅层地下水污染等隐患。在分析原地浸矿机理和工艺流程的基础上, 介绍离子型稀土开采设计阶段、施工阶段、生产阶段、生产后期的污染防治和环境保护管理措施要点。实践证明, 通过采取合理的污染防治措施, 离子型稀土矿的原地浸矿开采对矿区及周边地区的地表水、地下水、土壤等生态环境的扰动在可控范围内, 可实现离子型稀土矿山的绿色发展。

**[关键词]** 离子型稀土矿; 原地浸矿; 地下水; 地表水; 土壤; 生态环境; 污染防治; 环保管理

**[中图分类号]** X75      **[文献标志码]** B      **[文章编号]** 1008-5122(2021)06-0046-04

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.06.010

## Contamination Prevention & Control for Ion-adsorbed Rare Earth Deposit Mining

ZHANG Cheng, ZHANG Qi-jun, HUANG Bin

**Abstract:** The mining technology of southern ionic rare earth ore has experienced the evolution of pool leaching and heap leaching, and the in-situ leaching technology is currently used. In-situ leaching mining technology has the advantages of not damaging surface plants and producing tailings, but there are still risks such as landslides, pollution of surface water and shallow groundwater. Based on the analysis of in-situ leaching mechanism and process flow, the key points of pollution prevention and environmental protection management in the design stage, construction stage, production stage and later production stage of ionic rare earth mining were introduced. Practice has proved that by taking reasonable pollution prevention and control measures, the disturbance of the mining of ionic rare earth mines on the surface water, groundwater, soil and other ecological environment in the mining area and surrounding areas is controllable, and the green development of ionic rare earth mines is realized.

**Key words:** ion-adsorbed rare earth deposit; in-situ leaching; groundwater; surface water; soil; ecological environment; contamination prevention & control; environmental management

## 0 前言

离子型稀土矿是含稀土的花岗岩、火山岩在湿

热气候和低山、丘陵地貌等条件下, 经强烈的风化淋滤作用而形成的一种特殊而重要的矿床, 具有配分全, 中、重稀土元素含量高, 放射性低, 提取工艺相对简单等优点, 是我国珍贵重要且不可再生的战略资源, 尤其因为重稀土元素含量高, 离子吸附型稀土矿被全世界所重视<sup>[1]</sup>。因此, 自离子型稀土矿 1969 年在江西龙南足洞发现以来, 我国不断完善离子型稀土开采工艺体系。近年来, 环保要求的不断提高, 也对离子型稀土矿的开采工艺和环保管理提出了更高的要求。

**[收稿日期]** 2021-09-16

**[作者简介]** 张诚(1986—), 男, 江西龙南人, 硕士, 高级工程师, 主要从事南方离子型稀土无铍开采工艺研发、应用和推广, 矿区环境保护措施制定和落实矿权维护, 及矿山技术开采管理等工作。

**[引文格式]** 张诚, 张启军, 黄彬. 离子型稀土矿开采污染防治[J]. 有色冶金节能, 2021, 37(6): 46-49.

# 1 离子型稀土矿开采工艺

## 1.1 池浸、堆浸工艺

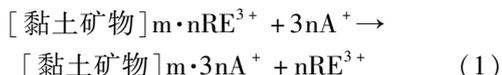
南方离子型稀土早期开采采用池浸工艺,后发展为堆浸工艺。池浸、堆浸工艺是在划定的矿段采用人工或机械的方式进行表土剥离和矿石剥离,然后将剥离的品位较高的矿石卸入浸矿池或堆场中,同时加入浸矿药剂进行浸矿作业,最后把浸出的稀土母液收集并生产出稀土产品的工艺。

在特定的历史条件下,池浸、堆浸工艺为国民经济作出了巨大的贡献,但因生产工艺技术本身存在的缺陷,对生态环境及国家资源造成了不可估量的损失,包括资源浪费、生态环境破坏等。据统计,采用池浸、堆浸工艺,每生产1 t混合稀土氧化物破坏植被160~200 m<sup>2</sup>,排出尾砂1 500~2 000 t,而且矿产资源利用率较低,部分矿产资源被排出的废渣所压覆<sup>[2]</sup>。1995年,原地浸矿工艺研发成功并被推广应用;2008年,国家管理部门全面禁止池浸和堆浸工艺的应用。

## 1.2 原地浸矿机理

原地浸矿是利用浸矿剂的阳离子从非均质矿体中把呈吸附态的稀土离子交换出来生成稀土母液,并用沉淀等方法回收稀土母液中稀土元素的采矿方法。

根据离子型稀土矿的成矿理论,在亚热带温暖湿润的气候条件下,含稀土矿物的花岗岩和火山岩,经风化作用形成黏土矿物,如埃洛石、高岭石、伊利石、蒙脱石等,同时稀土离子和其他阳离子解离出来,这些离子以水合阳离子的形式吸附在黏土矿上。稀土离子的富集成矿是一个经历迁移-吸附-风化解离-迁移-吸附,如些反复多次,最终在全风化层富集成矿的过程。具交换状态的稀土阳离子遇到交换势能更大的阳离子时,就被交换下来,反应式如下:



浸矿液通过一定间距的注液井(孔)网格注入矿体内。根据地下水动力学理论,由于注液井(孔)中的注液最终会形成稳定的渗透锥体,其渗浸局限在一个稳定的范围以内,浸矿液阳离子与稀土阳离子交换形成稀土母液<sup>[3]</sup>。如果存在隔水层,浸出来的稀土母液会沿其层面流出,只要设置收液巷道或集液沟、导流孔,就可将稀土母液汇集回收,这就是原地浸矿原理。

## 1.3 原地浸矿工艺流程

离子型稀土矿原地浸矿工艺流程如图1所示。

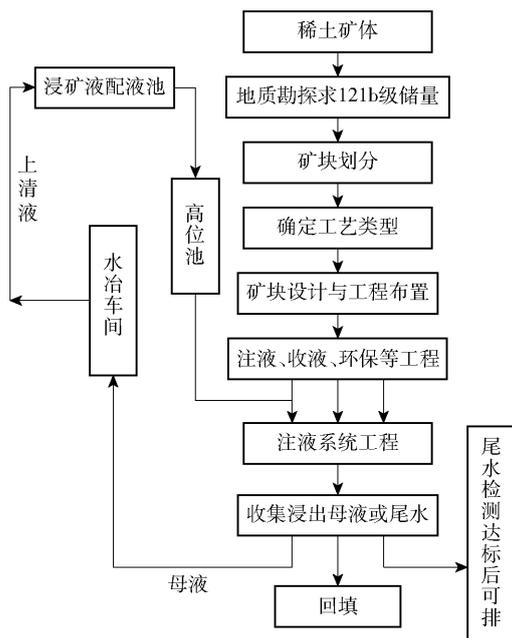


图1 原地浸矿开采工艺流程图

- 1) 确定待采矿体,进行生产勘探,探求121b类资源储量。
- 2) 对矿体进行块段划分,再根据矿体地质特点,确定矿体开采工艺类型。
- 3) 确定工艺类型后,对拟采矿块进行矿块设计和工程布置。
- 4) 对设计的浸矿工程和收液工程进行施工。
- 5) 浸矿液由水冶车间配液池泵送至矿块高位池,通过注液系统自流进入注液井浸矿。
- 6) 由矿块收液系统收集到的母液送入水冶车间进行处理,经处理后的上清液自流进入配液池,加入硫酸调整后泵送进入高位池,进入下一轮浸矿过程。
- 7) 母液浓度在达到工业指标时,加清水对矿块进行淋洗。收集的淋洗后液达标后,该矿块开采完毕。
- 8) 矿段开采完毕后,进行注液井回填及植被恢复工作。

## 2 离子型稀土矿采场污染防治

目前离子型稀土矿采用原地浸矿的开采工艺,相比以前的池浸、堆浸工艺,原地浸矿具有不破坏地表植物、不产生尾渣等优势,但开采中也存在表土崩落、地表水和浅层地下水污染等隐患,且污染隐患主

要发生在采矿主体的采场中<sup>[4]</sup>。为了使矿区及周边的生态环境扰动控制在可控范围内,实现离子型稀土矿绿色矿山建设,应加强对采场的环境保护管理<sup>[5]</sup>。

## 2.1 设计阶段

设计前,除了要详细解读所采矿块的储量核实报告、水文地质调查报告、工程地质报告及矿块物探简报等资料,设计人员还要进行大量实地踏勘,尽可能明确所采矿体底板情况,如是否存在断层、破碎带等不良水构造。设计时,要根据掌握的矿块情况,科学合理的设置注液、收液系统和环保措施,各工程设计应合理布局,明确浸矿需要的原材料数量、浸采路线及浸矿各阶段浓度。

## 2.2 施工阶段

施工阶段应根据设计方案尽责施工,特别关注以下环保措施的施工:

1) 矿体边缘以上 10 ~ 20 m 范围内不设置浸采注液工程,而是作为保安矿柱防止山体滑坡,以及作为缓冲带防止原岩重金属迁移。

2) 防渗措施。收液系统的收液沟及母液收集池必须做好防渗措施,防止稀土母液外渗到自然环境中。

3) 清污分流措施。在所采矿块收液沟上部一定距离设置封闭的避水沟,将采场的地表水截流,以防止雨水混入收液沟;采场外侧设置排水沟,将相邻山体的地表水进行截流,防止其他地表水汇流混入收液沟。

4) 监测回收措施。根据采场的水文地质单元在矿块的下游设置若干口观察井,井深以到潜水层或见基岩为准,生产时取样监测;在矿块下游地下水汇水处设置环保回收井,井深以到潜水层或见基岩为准,接入管线,一旦发现浸矿剂因子超标,即启动回收。

5) 应急措施。在采场母液收集池设置一个同容积的应急池,当母液中转池出现渗漏等事故时可启用应急池;浸矿液及母液输送管线每隔一定距离,设置止回阀。

## 2.3 生产阶段

正式生产前检查所有注液、收液及环保工程,确保每项工程施工能达到设计要求。

验收合格后开始注液,注液生产阶段环保管理主要关注以下方面:

1) 配制浸矿液的原材料总量。应以储量核实的总量反算的需要量作为浸矿液原料总量控制的依

据,加注的浸矿剂浓度先浓后淡,最后加注顶水,浸矿液各阶段浓度选择以所收母液的稀土浓度判断。

2) 详细记录每天的注液量、注液浓度及收液量、收液中的稀土浓度,并详细分析数据的关联性以指导下一步生产,应特别关注在采场注液水路疏通后每天的注液量及收液量是否平衡。

3) 生产期间,每天必须到采场实地巡查,检查每个注液井内的水量及每个注液区域是否出现裂缝,如出现异常则停止该区域的注液。

4) 监测井定期取样监测,如发现浸矿剂因子超标,则立即启动回收井的回收措施,直至监测井水样达标为止。

5) 定期巡查各项环保措施是否完好,如出现破损处应及时修复,保障环保措施运行正常。

## 2.4 生产后期

当回收的母液稀土浓度达到工业指标时,利用矿块的注液系统继续加清水对矿块进行淋洗,将矿体中存留的过量浸矿剂离子等淋洗出来,淋洗的尾水也通过收液系统收至水冶车间配液系统,根据生产需要添加浸矿药剂输送至下一矿块作为浸矿液。淋洗的终点为淋洗尾水稳定达到《离子型稀土矿山开采水污染物排放标准》(DB36 1016—2018)一级排放标准且持续一周以上时间。淋洗结束后,将注液孔周边的岩土回填,封堵闭孔并进行生态恢复,保留收液系统和环保措施,对自然淋洗的尾水进行收集和监测一定时间,直到尾水中特征因子持续稳定达标后,再封堵收液系统,并对该矿块的收液和环保工程进行拆除和复绿。

## 3 防治措施效果

在赣州市龙南足洞离子型稀土矿山进行了上述环保措施有效性论证,试验自 2020 年 1 月 20 日开始,历时 7 个月,至 8 月 2 日全部结束。通过试验积累的工艺参数和环保数据,可以有效指导矿山实际生产和环保管理工作。

### 3.1 工艺技术

本试验矿块的母液回收率为 90.06%,稀土采选综合回收率为 89.3%,最大程度将原矿配分中的稀土回收,且高价值钽、铪等元素配分比原矿配分有所增加。

### 3.2 环保措施

1) 试验工程的主要环保措施有防渗、雨污分流、清水淋洗、尾水处理、设置环保回收井等,其中防

渗措施主要是在池底和池壁铺设防渗篷布。经检测和效果验证,篷布平均厚度为0.47 mm,垂直渗透系数小于 $7.47 \times 10^{-13}$  cm/s。试验过程中防渗篷布未出现撕裂和渗漏现象,效果良好,简单经济,耐用且实用,满足环保要求。

2)在母液收集结束后开始清水淋洗,自7月2日开始至8月1日结束,淋洗周期32 d,淋洗措施将矿体中的大量浸矿剂清洗出来,大大降低了矿体的污染源强,淋洗措施工艺简单,经济有效,切实可行。

3)地表水影响情况:试验矿块下游地表水中的特征污染因子硫酸根浓度,从开采前的140 mg/L上升到开采后的892 mg/L,随着矿块清水淋洗的进行,下降到131 mg/L;矿区外地表水体均满足《离子型稀土矿山开采水污染物排放标准》(DB36 1016—2018)一级排放标准。以上数据说明,本次试验对下游地表水的环境影响是有限的、局部的,仅对临近采场的地表水有一定影响,特征污染因子浓度随着试验进程先增加后降低,最终随着试验结束恢复到浸采前的环境水平,其他地表水断面的特征因子变化趋势不显著。

4)地下水影响情况:试验矿块下游地下水中特征污染因子硫酸根浓度,在开采准备期、开采高峰期和清水淋洗期均小于100 mg/L,满足《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)Ⅲ类地下水限值。试验矿块的开采,对地下水的影响主要集中在离试验矿块较近的地下水监测点,对矿区上游和矿区外的地下水监测点的影响均不明显,且所有监测点随着淋洗的开始水质逐渐变好。可见,试验项目对采区临近的地下水影响是短期的、局部的;试验项目对矿区外的地下水影响较小且不显著,不改变矿区外的地下水环境质量类别,对地下水的环境影响在可控范围内。

5)土壤影响情况:试验矿块开采各阶段砷、镉、

六价铬、铜、铅、汞、镍等重金属指标均可满足《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)筛选值第二类用地要求。坡脚表层土壤中出现了轻度盐化,但是影响短暂,随着后期清水淋洗过程的进行,最终恢复至原地浸矿之前的未盐化水平,其余各土壤监测点的表层土壤均未出现盐化。试验期间矿块未出现板结现象,环境影响可接受。这说明项目试验对矿块下游土壤的影响较小;对山顶、边坡、坡脚土壤产生一定的环境影响,但经过清水淋洗试验后土壤质量好转。

5)生态影响情况:现场对照实验表明,受注液影响的矿山和周边未受影响的对照点的植物生长情况、叶绿素含量基本相同、土壤微生物数量处于同一数量级,这表明开采对植被、土壤、水生物、微生物的影响可接受。

## 4 结束语

综上所述,对离子型稀土矿采场采用合理的污染防治和环保管理措施,离子型稀土资源开发过程对矿区及周边生态环境的扰动完全在可控制范围内,可实现建设“绿色离子型稀土矿山”的目标。

### [参考文献]

- [1] 汤洵忠,李茂楠.离子吸附型稀土矿原地浸矿浸析采矿法[J].矿业研究与开发,1997(2):1-4.
- [2] 李青,周连碧,祝怡斌,等.离子型稀土矿山土壤氨氮污染预测[J].环境影响评价,2017,39(6):56-59.
- [3] 王晓军,李永欣,黄广黎,等.浸矿过程离子型稀土矿孔隙结构演化规律研究[J].中国稀土学报,2017,35(4):528-536.
- [4] 王瑞苹.江西赣南离子型稀土矿原地浸矿可能引发的环境问题[J].科技资讯,2012(33):150-151.
- [5] 刘芳.龙南离子型稀土矿生态环境及综合整治对策[J].金属矿山,2013(5):135-138.