



## 包钢选矿厂尾矿综合利用进展

于秀兰<sup>1</sup>, 刘嘉<sup>2</sup>, 王之昌<sup>2</sup>

(1. 沈阳化工学院, 辽宁 沈阳 110142; 2. 东北大学理学院, 辽宁 沈阳 110004)

**摘要:**包钢选矿厂尾矿是选铁、选稀土过程中产生的废弃物,其中含有大量稀土和铈等可利用的矿物组分,如果任其堆存废弃,必然要浪费这些宝贵的资源,而且尾矿堆存对生态环境还会造成极大的危害。因此,开展尾矿利用已成为当今矿业界的重要任务。本文对近年来包钢选矿厂尾矿综合利用取得的某些成果进行了综述,并对包钢选矿厂尾矿综合利用的发展方向提出了一些建议。

**关键词:**尾矿; 综合利用; 稀土; 铈

**中图分类号:**TD983 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2007)03-0032-03

### 1 前言

包头白云鄂博矿床是以铁、稀土、铈为主的大型多金属共生矿床。其中,稀土储量位居世界第一位,铈储量居世界第二位。其矿石物质成分十分复杂,现已发现有73种元素、170余种矿物,其中具有综合利用价值的元素有28种,铁矿物和含铁矿物20余种,稀土矿物16种,铈矿物20种。包钢选矿厂自投产以来,进入尾矿坝中的稀土氧化物达到数百万t,尾矿中稀土(REO)的平均品位在7%左右,比原矿稀土品位略高,其价值相当可观。对于铈矿物,因其贫、细、杂,是选矿界公认的难选矿物。过去在铈的选矿回收上也做了很多研究工作,但产品品位和回收率都很低,铁精矿中的铈在后续冶炼工艺中也未得到应用。现在,每年随铁矿石开采产出的五氧化二铈达1.3万t未进行回收,白白地流入尾矿,造成铈资源的浪费<sup>[1]</sup>。包钢选矿厂尾矿堆放在占地十多平方公里的尾矿坝中,基本没有防渗漏和防飞扬设施,对周围环境造成了污染<sup>[2]</sup>,而且内蒙古是北京沙尘暴源地之一<sup>[3]</sup>。因此,充分回收尾矿中的稀土、铈和铁,提高包钢资源的综合利用率是非常必要的。

另外,包钢白云鄂博铁矿经过近46年的开采,主矿区已开采三分之一,按今后的开采速度,再过30年,铁矿区的稀土将被开采完。因此,保护包头稀土资源,造福子孙后代刻不容缓<sup>[4]</sup>。

总之,尾矿的综合利用是关系到我国社会和经济可持续发展的重大科学技术难题之一,也是矿产资源综合利用科学的世界性难题。世界自然资源是有限的,随着尾矿分离技术的进一步研究和攻克,这些堆积如山的尾矿必将成为世界资源新的宝藏。

### 2 包钢选矿厂尾矿再选的应用进展

尾矿的综合利用主要包括以下两个方面:(1)尾矿再选,再回收有用矿物,精矿供冶金应用。其中包括物理选矿(浮选、重选及磁选等)和化学选矿(浸取、氯化焙烧等)两种主要的方法。(2)尾矿的直接应用(回填采空区、作建筑材料等)。目前,国内一些学者主要利用第一种方法对包钢选矿厂尾矿进行再利用。现综述如下:

#### 2.1 从强磁尾矿及磁铁矿尾矿中回收有价元素

1999年,李英霞采用以浮选为主的联合流程对包钢强磁尾矿中综合回收稀土和铈。该流程中先用浮选方法,以S<sub>1</sub>和H<sub>205</sub>为组合捕收剂,选出稀土精

收稿日期:2006-10-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50574023); 辽宁省教育厅科学研究资助项目(20040294)

作者简介:于秀兰(1964-),女,博士,副教授,主要从事稀土冶金及稀有金属显色剂的合成与应用等方面的研究工作。

矿。再采用浮—磁—重联合流程,从浮稀土的尾矿中选出铈。在强磁尾矿含 REO 8.5%、 $Nb_2O_5$  0.125% 的情况下,采用该工艺获得稀土精矿含 REO 36.70%,回收率 57.34%;铈精矿 1 含  $Nb_2O_5$  1.66%,铈精矿 2 含  $Nb_2O_5$  0.59%,铈总回收率 35.58%<sup>[5]</sup>。

2003 年,方军等对磁铁矿尾矿选稀土进行工艺流程改进,经一次粗选、二次精选选别,可获稀土精矿品位 52%。建议增加精选次数,可生产稀土精矿品位 60%<sup>[6]</sup>。

## 2.2 从稀土浮选尾矿中回收有价元素

1995 年,吕宪俊等采用多种手段系统研究了包钢选矿厂浮选稀土尾矿中铁的赋存状态及单体解离度。制定出重—浮流程来富集尾矿中的铁。浮选时采用乳化的氧化石蜡皂作为捕收剂,可从含全铁 26% 的稀选尾矿中获得含全铁 61.97%、回收率 62.59% 的铁精矿<sup>[7]</sup>。

1997 年,陈泉源等采用反浮—正浮工艺流程综合回收尾矿中的铁且兼顾了铈的回收。首先添加水玻璃、氧化石蜡皂将残存的稀土矿物以及萤石等易浮矿物浮出,得产率 20.31% 含 TFe 8.52%、 $Nb_2O_5$  0.13%、REO 13.58% 的稀土泡沫产品,REO 回收率为 61.29%。反浮选尾浆浓缩脱泥后,添加氟硅酸铵、氧化石蜡皂浮选铁矿物,得到产率 23.47%、含 TFe 61.15%、 $Nb_2O_5$  0.12% 的铁精矿, $Nb_2O_5$  的回收率 72.72%,是选铈的良好原料。采用  $H_2SO_4$ 、CMC、 $C_{5-9}$ 、羟肟酸、草酸浮选可得含  $Nb_2O_5$  1.5%~2%、TFe 45% 左右的铈精矿, $Nb_2O_5$  的回收率 48% 左右<sup>[8]</sup>。

2004 年,王云飞等利用包钢选矿厂生产铁精矿后剩余的尾矿和脱溢,通过再磨—弱磁选—反浮选回收铁精矿,通过一次粗选、二次精选回收稀土精矿,从而得到品位为 62.11% 的铁精矿和品位为 50.00% 的稀土精矿<sup>[9]</sup>。

2005 年,姬俊梅采用反浮选—浮铈—浮铁工艺流程来富集尾矿中的铈和铁。浮铈时采用硫酸调节 pH 值至 5.5,采用羧甲基纤维素、LH、LJ、草酸、SN、2#油药剂组合,可从含铈 0.21%、全铁 26.48% 的稀选尾矿中,获得含铈 4.90%、回收率 28.25% 的铈精矿及全铁 59.68%、回收率 42.05% 的铁精矿<sup>[10]</sup>。

## 2.3 从包钢选矿厂总尾矿中回收有价元素

2002 年,张文华采用重选—浮选联合流程和单

一浮选流程来富集包钢选矿厂尾矿坝中的稀土。由于试验样品粒度较细,首先对矿泥进行摇床分选试验,抛弃 55% 的尾矿,获得重选精矿。之后对重选精矿进行浮选,稀土品位由原来的 7% 提高到 47.3%。采用单一浮选流程时,以水玻璃为抑制剂, $H_{205}$  和 318<sup>#</sup> 为稀土捕收剂,通过一粗一扫二次精选流程,稀土精矿品位可达 43.8%,回收率为 59.72%<sup>[11]</sup>。

东北大学王之昌教授于 2005 年开始从事利用化学方法从包钢选矿厂总尾矿中富集及提取稀土的研究工作,取得了可喜的成绩。首次在低温(400℃至 500℃)下(低于尾矿中稀土的氯化温度)通过碳热氯化反应<sup>[12-14]</sup>使尾矿中的铁、铈、钙、钡、镁等元素氯化而除去,从而达到提高稀土品位的目的。

## 3 尾矿的直接应用

2003 年,云月厚以白云鄂博选铁尾矿为原料制备吸波材料,在 7.6~11.5GHz 对其吸收特性进行了分析研究。实验结果表明,在富含铁及多种稀土元素的选铁尾矿中加入 2% 的磁性及电性介质,经过 650℃ 热处理后,最大吸收量达 21dB,13dB 带宽 2.4GHz<sup>[15]</sup>。微波吸收材料在军事上用于隐身技术,在信息技术、环保科学方面可有效改善电磁环境,抑制电磁波干扰,防止辐射、泄漏,其用途越来越广泛,是国外学者深入研究和开发的新型功能材料。

## 4 结 语

我国是一个资源短缺的国家,必须转变传统的矿产资源开发模式,走可持续发展的道路。尾矿的综合利用、环境的治理还需要有关部门制定具体的方针政策和法律措施给予保证,在资金方面给予支持,在税收方面给予优惠。同时各选矿厂要加强同高校及科研部门的配合,从矿山资源特点和条件出发,以资源化、无害化为原则,以开发高附加值、多功能新材料作为技术攻关的核心,加强新技术新工艺的开发与应用,这样尾矿的开发利用必将会产生巨大的经济效益和社会效益。

## 参考文献:

- [1] 李俐. 白云鄂博铁矿矿产资源的现状及其开发利用前景[J]. 包钢科技, 2003, 29(2): 1~3, 7.
- [2] 张利成, 白丽娜, 王灵秀. 白云鄂博矿开发利用中放射性废渣对环境的污染与防治[J]. 稀土信息, 2001(2): 17.

[3]李令军,高庆生. 2000 年北京沙尘暴源地解析[J]. 环境科学研究,2001,14(2):1.

[4]徐广尧. 包头稀土采选的两点建议[J]. 稀土信息,2003(9):21.

[5]李英霞. 从包钢强磁尾矿中回收稀土和铈的研究[J]. 广东有色金属学报,1999,9(2):101~105.

[6]方军,赵德贵. 包钢选矿厂磁铁尾矿选稀土的探讨[J]. 金属矿山,2003(3):47~49.

[7]吕宪俊,陈炳辰. 包钢选矿厂浮选稀土尾矿中铁的赋存状态及其综合回收研究[J]. 矿产综合利用,1995(3):4~10.

[8]陈泉源,余永富,丰于慧,等. 白云鄂博铈资源选矿新工艺工业分流试验[J]. 矿冶工程,1996,16(1):22~24.

[9]王云飞,方军. 回收尾矿中有效成分的实践探讨[J]. 包钢科技,2004,30(4):5~7.

[10]姬俊梅. 包头矿铈矿物的综合回收研究[J]. 矿业快报,2005(10):13~15.

[11]张文华,郑煜,秦永启. 包钢选矿厂尾矿的稀土选矿[J]. 湿法冶金,2002,21(3):36~38.

[12]Zhang L Q, Wang Z C, Tong S X, et al. Rare Earth Extraction from Bastnaesite Concentrate by Stepwise Carbochlorination-Chemical Vapor Transport-Oxidation[J]. Metallurgical and Materials Transactions B,2004,35B:217~221.

[13]Wang Z C, Zhang L Q, Lei P X, et al. Rare Earth Extraction and Separation from Mixed Bastnaesite-Monazite Concentrate by Stepwise Carbochlorination-Chemical Vapor Transport [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2002,33B:661~668.

[14]张丽清,雷鹏翔,尤健,等. 氟碳铈矿精矿在  $SiCl_4$  存在时的碳热氯化过程[J]. 有色金属学报,2003,13(2):502~505.

[15]云月厚,郇显康,李国栋,等. 富含稀土白云选铁尾矿制备的微波吸收材料特性研究[J]. 稀土,2003,24(2):68~70.

## New Progress in Comprehensive Utilization of Tailings in Bao Steel's Concentrator

YU Xiu-lan<sup>1</sup>, LIU Jia<sup>2</sup>, WANG Zhi-chang<sup>2</sup>

(1. Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang, Liaoning, China;  
2. Northeastern University, Shenyang, Liaoning, China)

**Abstract:** The tailings of Bao steel's concentrator are wastes from separation process of iron and rare earths ores in Mineral Processing Concentrator of Baotou Iron and Steel Company, A large amount of available mineral constituent of rare earths, niobium, etc. are remained in the tailings. If these valuable resources are not made rational use of, they will be wasted, and also it is harmful to environment. Therefore, the comprehensive utilization of these tailings is an important task. In this paper, the research and testwork of comprehensive utilization of tailings in Bao steel's concentrator are overviewed, and some advices about development direction of comprehensive utilization of tailings in Bao steel's concentrator are proposed.

**Key words:** Tailings; Comprehensive utilization; Rare earths; Niobium

(上接 16 页)

表 8 磷精矿化学多项分析结果/%

$P_2O_5$	$Fe_2O_3$	MgO	酸溶 $Al_2O_3$	CaO	F
29.14	2.43	0.80	4.45	41.70	2.08

从表 8 数据可以看出,精矿中 MgO 含量为 0.80%,但  $Fe_2O_3$  和  $Al_2O_3$  杂质含量略高,经分析,这是由该矿石的特殊工艺矿物学性质决定的。工艺矿物学研究表明,该矿石中铁主要以黄铁矿的形式存在,颗粒大小不等,分布范围极广,有一小部分以尘点状散布在团粒或泥晶状的磷块岩中,造成铁质污染,致使磷精矿中含有有害杂质  $Fe_2O_3$ 。水云母中的  $Al_2O_3$  为本矿石中的主要有害组分,其粒径特别

细小,仅为  $5\mu m$  以下,以隐晶质集合体和胶体分散状存在的水云母,分散分布在团粒及含磷质的胶结物中,选矿工艺中需要超细磨才能单体解离。

### 3 结 论

1. 根据原矿化学多项分析结果,选矿主要回收对象为磷(磷灰石、硫磷铝铈矿),其主要有害杂质为铁、碳酸盐(包括碳酸钙和碳酸镁)和水云母。其他元素均无回收利用的价值。

2. 选矿进行了详细的条件试验及流程结构的研究,最终采取的富磷降铁同时进行的反浮选试验流

(下转 37 页)