

稀土粗精矿提取过程稀土元素分布规律研究

刘珍珍^{1,2,3}, 刘 勇^{1,2,3*}, 刘牡丹^{1,2,3}, 周吉奎^{1,2,3}

- (1. 广东省资源综合利用研究所, 广东 广州 510650;
2. 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室, 广东 广州 510650;
3. 广东省矿产资源开发和综合利用重点实验室, 广东 广州 510650)

摘 要:某伴生稀土磷矿矿物种类繁多、嵌布粒度微细,连生关系复杂,难解离难选。通过物理和化学选矿得到 REO 含量 13.12% 的稀土粗精矿,采用“中温酸化-水浸-除杂-沉淀稀土”流程提取回收其中的稀土并对稀土元素的分布规律进行研究,全流程稀土回收率 85.78%,其中稀土元素 CeO_2 、 Nd_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Dy_2O_3 和 Y_2O_3 回收率分别为 87.95%、86.25%、66.38%、49.22% 和 47.66%。实验结果表明,该工艺流程可以有效提取回收稀土粗精矿中的稀土。稀土各元素在回收过程中回收率不尽相同,中、重稀土的回收率低,其主要原因是硫酸酸化-水浸过程中、重稀土硫酸盐与硫酸钙共沉淀形成复杂难溶硫酸复盐。

关键词:稀土粗精矿;浓硫酸;中温酸化;稀土元素分布规律

中图分类号:TQ110.6;TF845

文献标识码:A

文章编号:1004-0277(2018)01-0050-07

目前应用于工业生产的稀土精矿通常品位较高^[1](REO 含量 50%左右),很少有 REO 含量 10%左右的稀土粗精矿的研究报道。国内云南、四川,国外俄罗斯、波兰、加拿大、南非和朝鲜等地蕴藏了储量较大的伴生稀土磷矿,经过物理和化学选矿可以得到品位 10%左右的稀土粗精矿,如何从这种复杂难处理低品位稀土粗精矿中经济有效地回收稀土,已经越来越引起研究者的关注^[2]。

稀土精矿通常采用浓硫酸或烧碱高温分解,近年来针对包头稀土精矿,科研工作者也研究了浓硫

酸低温酸化^[3~8]、络合浸出^[9~11]、添加(氢)氧化钙^[12,13]、氯化钠^[14]、碳酸钠^[15,16]和氯化铵^[17,18]等焙烧和浸出方法处理。烧碱法和加碱加盐焙烧法的缺点是对矿物种类和稀土含量的要求较高,相比之下,浓硫酸焙烧法能够分解独居石和氟碳铈矿等多种稀土矿物,对精矿的适应性强。

某伴生稀土磷矿矿物种类繁多、嵌布粒度微细,连生关系复杂,难解离难选。通过物理和化学选矿得到 REO 含量 13.12% 的稀土粗精矿,与国内常见稀土精矿相比,该粗精矿稀土含量低,稀土矿

收稿日期:2016-05-17

基金项目:国家自然科学基金青年基金(51304055);广东省科学院创新平台能力拓展专项(2016GDASPT-0104);广东省科学院创新平台能力拓展专项(2017GDASCX-0109)

作者简介:刘珍珍(1983-),女,山东莱州人,硕士,高级工程师,主要从事稀贵金属的提取回收及二次资源综合利用。

* 通讯联系人(E-mail:gzly11@163.com)

DOI: 10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.201801007

物种类繁多、赋存状态复杂,适合采用浓硫酸焙烧处理。鉴于浓硫酸高温焙烧对环境的负面影响,本研究采用了硫酸中温酸化-水浸-除杂-沉淀全工艺流程处理该复杂难处理低品位稀土粗精矿,并重点考察各稀土元素在流程各环节的分布情况。

1 实验部分

1.1 实验原料

原矿 MLA 自动矿物定量检测结果显示,矿石中的稀土矿物主要是独居石、直氟碳钙铈矿和少量氟碳铈矿,此外还有部分胶态稀土;磷和含磷矿物主要为磷灰石,其次为独居石;锆矿物主要是水锆石,少量锆石和微量斜锆石;其他金属氧化矿物有大量的赤铁矿和土状褐铁矿,少量磁铁矿、硬锰矿等;脉石矿物主要是绿泥石、石英、云母、白云石、方解石、长石等。矿石具深度氧化特征,并且具有一定的泥化现象。原矿中赋存于(含铁)独居石、(直)氟碳钙铈矿、胶态稀土和易解石矿物的稀土分别占 34.38%,10.32%,8.48%和 5.61%,分散于磷灰石和褐铁矿(土状)中的稀土分别占 24.93%和 13.21%。本矿石中稀土矿物嵌布粒度细,与磷灰石和褐铁矿连生关系复杂,较难磨矿解离,难以通过传统选矿方法获得 REO 品位超过 30% 的稀土精矿。

实验原料为原矿通过磁选-浮选-预浸出-沉淀流程获得的稀土粗精矿,其主要化学分析结果和稀土元素配分结果见表 1 和表 2。该粗精矿中稀土主要以磷酸钙稀土复盐、独居石、少量(直)氟碳铈矿、胶态稀土和易解石等赋存,稀土矿物复杂。

表 1 稀土粗精矿化学分析结果/%

Table 1 Chemical analysis results of the rare earth rough concentrate/%

Component	REO	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	F
Content	13.12	16.25	3.92	15.35	0.16	24.05	5.27

从表 1 分析结果来看,稀土粗精矿中铁、磷和

钙含量高,其它杂质含量低,REO 含量仅有 13.12%。如何有效提取精矿中低含量的稀土,是冶金处理的难点之一。由表 2 可见,该稀土粗精矿中轻稀土元素(La₂O₃、CeO₂、Pr₆O₁₁和 Nd₂O₃)合计 91.68%;中稀土元素(Sm₂O₃、Eu₂O₃、Gd₂O₃、Tb₄O₇和 Dy₂O₃)合计 6.63%;重稀土元素(Ho₂O₃、Er₂O₃、Tm₂O₃、Yb₂O₃、Lu₂O₃和 Y₂O₃)合计 1.69%;与国内常见轻稀土矿相比,该粗精矿中中稀土元素含量较高,经济价值较高。

表 2 稀土粗精矿稀土元素配分结果/%

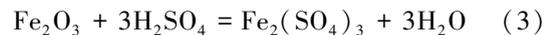
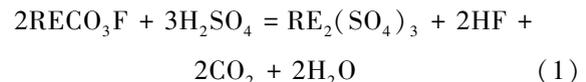
Table 2 REE distribution of the rare earth rough concentrate/%

Component	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇
Content	21.35	42.64	5.83	21.86	3.35	0.72	1.68	0.27
Component	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Total
Content	0.61	0.15	0.19	<0.001	<0.001	<0.001	1.35	100.00

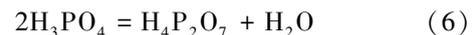
1.2 实验原理

1.2.1 酸化过程的实验原理

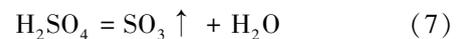
浓硫酸分解稀土矿物的主反应:



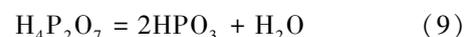
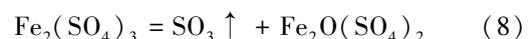
在 200 °C ~ 300 °C,磷酸脱水转变为焦磷酸:



330 °C 左右,硫酸分解:

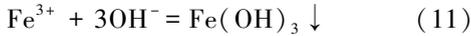


400 °C 硫酸铁开始分解成为碱式硫酸铁,焦磷酸脱水:



1.2.2 除杂过程的实验原理

除杂过程的反应原理如下:



1.3 实验工艺流程

采用如图 1 所示的工艺流程对稀土粗精矿中稀土进行提取回收,其中采用硫酸中温酸化-水浸可以使稀土粗精矿中的稀土浸出;沉淀除杂则将稀土浸出液中杂质铁和磷沉淀除掉,沉淀制备得到稀土产品。按照图 1 所示的工艺流程即可得到碳酸稀土。

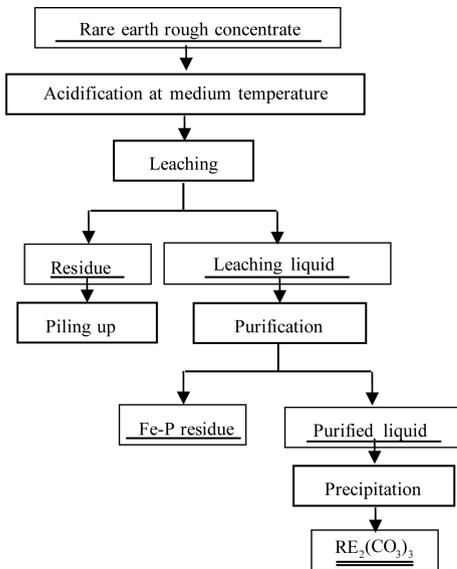


图 1 原则工艺流程

Fig. 1 The principle process

2 结果与讨论

2.1 硫酸中温酸化-水浸

采用硫酸中温酸化分解稀土粗精矿,并通过浸

出使稀土进入溶液,优化的实验条件为:稀土粗精矿按 0.8:1 的酸矿质量比添加浓硫酸在 450 °C 下酸化 3 h,酸化渣经浸出后残渣和浸出液的化学成分分析结果见表 3,计算浸出率。

根据表 3 残渣中元素含量计算得到稀土、磷和铁的浸出率分别为 88.44%, 20.79% 和 74.97%。稀土浸出率较高,原因是在实验条件下浓硫酸可以较彻底地分解含稀土矿物,生成可溶性稀土硫酸盐;磷的浸出率较低,原因是在 200 °C ~ 300 °C,磷酸脱水转变为焦磷酸,400 °C 继续脱水生成偏磷酸,减少水浸时磷的浸出;铁的浸出率不高,原因是铁首先与硫酸反应生成硫酸铁,可溶性硫酸铁从 400 °C 开始分解成为难溶的碱式硫酸铁,减少了部分铁的浸出。虽然铁和磷的浸出率不高,但溶液中磷和铁的含量仍较高,杂质铁和磷会影响沉淀稀土产品的纯度,需要通过净化除掉杂质后沉淀回收稀土产品。

表 3 浸出液和残渣的化学分析结果

Table 3 Chemical analysis results of the leaching liquid and the residue

Component	REO	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	S
Leaching liquid/(g/L)	28.04	6.85	0.064	0.67	0.12	41.68	/
Residue/%	2.15	18.24	5.48	19.49	0.18	8.31	18.65

2.2 除杂

硫酸中温酸化-水浸得到的浸出液中杂质铁和磷含量较高,可采用氢氧化钠进行中和沉淀除杂。实验条件:浸出液加氢氧化钠至溶液 pH 为 3.5,沉淀温度 60 °C,沉淀时间 1 h。沉淀后进行液固分离,净化液和铁磷渣化学成分分析结果见表 4,计算稀土损失率。

表 4 净化液和铁磷渣的化学分析结果

Table 4 Chemical analysis results of the purified liquid and the Fe-P residue

Component	REO	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
The purified liquid/(g/L)	21.07	<0.005	<0.005	0.51	<0.005	0.022
Fe-P residue/%	0.64	6.83	0.058	<0.005	0.11	41.53

根据表 4 铁磷渣中元素含量计算得到稀土、磷和铁的沉淀率分别为 2.28%、99.61% 和 99.54%。添加氢氧化钠,溶液 pH 升高,由于浸出液中有磷存在,金属离子首先与磷生成更难溶的磷酸盐沉淀。溶液中铁离子活度大,首先发生的反应是铁与磷沉淀生成难溶的磷酸铁,由于铁大大过量,磷基本彻底沉淀,因此难以反应生成大量磷酸稀土,稀土损失较少;继续添加氢氧化钠,过量的铁沉淀为难溶的氢氧化铁,溶液 pH 为 3.5 时溶液中的铁基本彻底沉淀;若此时继续添加氢氧化钠,溶液中的稀土开

始大量沉淀。净化液中 REO 含量降低至 21.07 g/L,主要原因是洗涤水量的增加和稀土与铁磷共沉淀的损失。除杂后铁和磷的含量低,沉淀除杂效果较好。铁磷渣中 REO 含量 0.64%,稀土损失率低。

2.3 沉淀稀土

净化液中各杂质含量均较低,可以用碳酸氢铵直接沉淀稀土得到碳酸稀土产品。沉淀条件:净化液中加碳酸铵至溶液 pH 为 6.5,常温搅拌 2 h。沉淀后进行液固分离。碳酸稀土和稀土沉淀母液化学成分分析结果见表 5,计算稀土回收率。

表 5 碳酸稀土和稀土沉淀母液化学分析结果

Table 5 Chemical analysis results of the rare earth carbonate and the mother liquid of rare earth

Component	REO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Ca	Mg	Fe
RE ₂ (CO ₃) ₃ /%	46.22	<0.01	0.093	0.61	0.0044	0.02
The mother liquid/(g/L)	<0.005	<0.005	0.010	0.009	<0.005	0.08

从表 5 可知,稀土沉淀母液中 REO 含量低于 0.005 g/L,稀土沉淀较完全。碳酸稀土产品的杂质含量较低,碳酸稀土 REO 含量 46.22%,计算得稀土回收率为 99.80%。实现稀土产品的回收。

2.4 全流程稀土走向分析

对全流程原料和最终产品的稀土元素配分进行分析,结果如表 6 所示。由于碳酸稀土沉淀母液中稀土含量低于 0.005 g/L,对全流程稀土走向影响不大,

因此未对稀土沉淀母液中稀土元素含量进行分析。

由表 6 可见,稀土粗精矿回收过程中稀土元素在各个最终产物的分布略有不同,与原料稀土粗精矿相比,在浸出残渣和铁磷渣中轻稀土元素配分降低,而中稀土和重稀土元素配分则明显升高;在碳酸稀土产品中轻稀土元素配分增加,而中稀土和重稀土元素配分则大幅降低,推测原因是中、重稀土含量低而趋于分散。

表 6 全流程稀土元素配分分析结果/%

Table 6 REE distribution of the whole flow/%

RE oxide	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇
Rare earth rough concentrate	21.35	42.64	5.83	21.86	3.35	0.72	1.68	0.27
Residue	17.31	37.12	5.79	21.40	4.87	1.25	3.03	0.56
Fe-P residue	12.96	35.94	5.71	20.32	4.54	2.38	8.93	0.96
RE ₂ (CO ₃) ₃	22.02	43.72	5.86	21.98	3.07	0.57	1.30	0.21
RE oxide	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Total
Rare earth rough concentrate	0.61	0.15	0.19	<0.001	<0.001	<0.001	1.35	100.00
Residue	2.21	0.45	0.76	<0.001	<0.001	<0.001	5.25	100.00
Fe-P residue	2.19	0.82	1.21	<0.001	<0.001	<0.001	4.04	100.00
RE ₂ (CO ₃) ₃	0.35	0.09	0.08	<0.001	<0.001	<0.001	0.75	100.00

为了更准确地研究轻、中、重稀土在稀土回收全流程的走向,分别对稀土总量(REO)、轻稀土(CeO_2 和 Nd_2O_3)、中稀土(Gd_2O_3 和 Dy_2O_3)和重稀土(Y_2O_3)在各流程的回收率进行计算统计,结果如表7所示。

表 7 全流程稀土回收结果**/%

Table 7 Rare earth recovery of the whole flow/%

Recovery	Sulfation-water leach	Impurities removal	Rare earth precipitation	The whole flow
REO	88.44	97.73	99.25	85.78
CeO_2	89.93	98.12	99.68	87.95
Nd_2O_3	88.68	97.90	99.36	86.25
Gd_2O_3	79.14	86.51	96.95	66.38
Dy_2O_3	58.10	87.59	96.71	49.22
Y_2O_3	55.03	89.08	97.22	47.66

** 为了便于比较,表中回收率全部按照渣中稀土总量和稀土元素含量计算,据此计算 REO 的回收率与前述回收率略有差别

从表7可以看出,各工序轻稀土 CeO_2 和 Nd_2O_3 的回收率均略高于 REO 回收率;各工序中、重稀土 Gd_2O_3 、 Dy_2O_3 和 Y_2O_3 的回收率均低于 REO 回收率;其中硫酸酸化-浸出时回收率较低是影响中、重稀土回收率最主要的因素,其次是沉淀除杂过程中、重稀土沉淀较多。根据文献[2]硫酸分解渣 MLA 分析检测结果,酸化过程中、重稀土硫酸盐与硫酸钙共沉淀形成复杂难溶硫酸复盐,趋于分散在渣中,造成了中、重稀土全流程回收率较低。

3 结论

1. 采用“中温酸化-水浸-除杂-沉淀稀土”工艺从稀土粗精矿中提取稀土,稀土回收率 85.78%,其中轻稀土元素 CeO_2 和 Nd_2O_3 回收率为 87.95%和 86.25%;中稀土元素 Gd_2O_3 和 Dy_2O_3 回收率为 66.38%和 49.22%;重稀土元素 Y_2O_3 回收率为 47.66%。

2. 在回收过程中,稀土各元素回收率不尽相同,中、重稀土的回收率略低,其主要原因是硫酸酸化-水浸过程中、重稀土硫酸盐与硫酸钙共沉淀形成复

杂难溶硫酸复盐。

参考文献:

- [1] 郎晓川,于秀兰. 我国混合稀土粗精矿处理方法的研究进展[J]. 稀有金属与硬质合金, 2009, 37(3): 43-47.
Lang X C, Yu X L. The latest development of chinese mixed rare earth concentrate processing[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 2009, 37(3): 43-47.
- [2] 刘勇,刘珍珍,刘牡丹. 稀土粗精矿低温硫酸化分解工艺[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(12): 3147-3154.
Liu Y, Liu Z Z, Liu M D. Decomposition process of rare earth rough concentrate by low temperature sulfation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(12): 3147-3154.
- [3] 马莹,许延辉,常叔,等. 包头稀土精矿浓硫酸低温焙烧工艺技术研究[J]. 稀土, 2010, 31(2): 20-23.
Ma Y, Xu Y H, Chang S, et al. Study on the decomposition of baotou rare earth concentrate[J]. Chinese Rare Earths, 2010, 31(2): 20-23.
- [4] 石富. 包头稀土粗精矿浓硫酸低温焙烧的数量分析[J]. 稀土, 2008, 29(2): 66-68.
Shi F. Quantitative analysis of decomposition of baotou rare earth concentrate[J]. Chinese Rare Earths, 2008, 29(2): 66-68.
- [5] 王秀艳,马莹,张丽萍,等. 包头稀土粗精矿硫酸低温焙烧分解工艺研究[J]. 稀土, 2003, 24(4): 29-31.
Wang X Y, Ma Y, Zhang L P, et al. New technique of decomposition of rare earth concentrate[J]. Chinese Rare Earths, 2003, 24(4): 29-31.
- [6] 赵铭,谢隆安,胡政波. 混合稀土粗精矿浓硫酸低温焙烧工业化的研究[J]. 包钢科技, 2013, 39(3): 47-49.
Zhao M, Xie L A, Hu Z B. Study on industrialization of roasting mixed rare earth concentrate with concentrated sulfuric acid at low temperature[J]. Science and Technology of Baotou Steel, 2013, 39(3): 47-49.
- [7] 李解,王少炳,李保卫,等. 微波辅助硫酸低温焙烧稀土精矿实验研究[J]. 稀土, 2013, 34(6): 45-50.
Li J, Wang S B, Li B W, et al. Microwave-assisted de-

- composition of rare earth concentrate with sulfuric acid at low temperature[J]. Chinese Rare Earths, 2013,34(6): 45-50.
- [8] 王少炳,李解,李保卫,等.浓硫酸低温分解混合稀土精矿动力学分析[J].稀土,2015,36(4):31-37.
- Wang S B, Li J, Li B W, et al. Kinetic analysis of decomposition of mixed rare earth concentrate with sulfuric acid at low temperature[J]. Chinese Rare Earths, 2015,36(4):31-37.
- [9] 李梅,胡家利,张晓伟,等.HCl-AlCl₃溶液络合浸出50混合稀土精矿的研究[J].稀有金属,2016,40(7):695-700.
- Li M, Hu J L, Zhang X W, et al. Coordination leaching of baotou 50 mixed rare earth concentrate by HCl-AlCl₃ solution[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2016,40(7):695-700.
- [10] 李梅,张晓伟,刘佳,等.HNO₃-Al(NO₃)₃络合浸出包头稀土精矿中的氟元素及其络合机理[J].中国有色金属学报,2015,25(2):508-514.
- Li M, Zhang X W, Liu J, et al. Coordination leaching of fluorine element of Baotou rare earth concentrate by HNO₃-Al(NO₃)₃ and its coordination mechanism[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015,25(2):508-514.
- [11] 刘佳,李梅,柳召刚,等.包头混合稀土精矿络合浸出的研究[J].中国稀土学报,2012,30(6):673-679.
- Liu J, Li M, Liu Z G, et al. Coordination leaching of baotou mixed rare earth concentrate[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2012,30(6):673-679.
- [12] 边雪,吴文远,郑强,等.Ca(OH)₂-NaOH分解混合稀土精矿的研究[J].稀土,2014,35(4):30-34.
- Bian X, Wu W Y, Zheng Q, et al. Study on decomposition of mixed rare earth concentrate by Ca(OH)₂-NaOH[J]. Chinese Rare Earths, 2014,35(4):30-34.
- [13] 郁青春.包头稀土粗精矿添加氧化钙焙烧工艺研究[J].稀土,2002,23(2):13-15.
- Yu Q C. Technological research on roast of baotou rare earth concentrate added by calcium oxide[J]. Chinese Rare Earths, 2002,23(2):13-15.
- [14] 吴文远,胡广勇,孙树臣,等.CaO和NaCl焙烧混合稀土粗精矿过程中的分解反应[J].中国稀土学报,2004,22(2):210-214.
- Wu W Y, Hu G Y, Sun S C, et al. Decomposition reaction of mixed rare earth concentrate and roasted with CaO and NaCl[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2004,22(2):210-214.
- [15] 乔军,柳召刚,张存瑞,等.包头稀土粗精矿添加25%碳酸钠焙烧反应动力学研究[J].稀土,2000,21(1):65-69.
- Qiao J, Liu Z G, Zhang C R, et al. Study on the roast reaction kinetics of baotou rare earth concentrate added by 25% Na₂CO₃[J]. Chinese Rare Earths, 2000,21(1):65-69.
- [16] 李梅,耿彦华,张栋梁,等.Na₂CO₃-NaOH焙烧高品位混合型稀土精矿的研究[J].中国稀土学报,2016,34(1):55-61.
- Li M, Geng Y H, Zhang D L, et al. Roasting of high-grade mixed rare earth concentrate by Na₂CO₃-NaOH[J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2016,34(1):55-61.
- [17] 时文中,朱国才,华杰,等.氯化铵焙烧法从混合型稀土粗精矿中回收稀土[J].河南大学学报(自然科学版),2002,32(4):45-48.
- Shi W Z, Zhu G C, Hua J, et al. Recovery of RE from rare earth concentrate with ammonium chloride roasting[J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2002,32(4):45-48.
- [18] 朱国才,时文中,池汝安.氯化铵焙烧法从氟碳铈矿提取稀土的研究进展[J].中国稀土学报,2002,(S2):136-142.
- Zhu G C, Shi W Z, Chi R A. Process on recovery of rare earth from bastnasite with NH₄Cl roasting treatment[J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2002,(S2):136-142.

Study on Distribution of Rare Earth Elements during the Recovery Process of Rare Earth Rough Concentrate

LIU Zhen-zhen^{1,2,3}, LIU Yong^{1,2,3}, LIU Mu-dan^{1,2,3}, ZHOU Ji-kui^{1,2,3}

(1. *Guangdong Institute of Resource Comprehensive Utilization, Guangzhou 510650, China;*

2. *State Key Laboratory of Separation and Comprehensive Utilization of Rare Metals, Guangzhou 510650, China;*

3. *The Key Laboratory for Mineral Resources R&D and Comprehensive Utilization of Guangdong, Guangzhou 510650, China*)

Abstract: An associated rare earth phosphorite is composed of a variety of minerals with fine dissemination size and complex intergrowth relationship. It is difficult to concentrate. Rare earth rough concentrate with grade of 13.12% REO was obtained by chemical concentration and physical concentration from the ore. Rare earth elements were recovered from the concentrate by the process of medium temperature acidification-water leaching-impurity removal-rare earth precipitation. The REO recovery of the whole flowsheet is 85.78%. The recoveries of CeO₂, Nd₂O₃, Gd₂O₃, Dy₂O₃ and Y₂O₃ are 87.95%, 86.25%, 66.38%, 49.22% and 47.66%, respectively. The results showed that the process could extract and recover rare earth from rare earth rough concentrate effectively. The recoveries of each rare earth element are different, and the recoveries of medium and heavy rare earth are lower than that of light ones, that is because medium and heavy rare earth and calcium sulfate form the complex insoluble sulfate during the process of sulfation-water leaching.

Key words: rare earth rough concentrate; concentrated sulfuric acid; acidification at medium temperature; distribution of RE elements