

对印尼某海滨铁砂矿的开发利用研究

杨涛¹, 陈汉字², 宋复梅¹, 王斌¹, 崔国亮¹

(1. 首钢技术研究院, 北京 100043; 2. 首钢总工室, 北京 100041)

摘要:通过对印尼某海滨铁砂矿进行选矿试验和矿石的可磨度研究, 查明该海滨砂矿的主要组成和确定了选矿工艺流程, 并考察对该海滨铁砂矿开发利用的可能性。试验结果表明, 此铁砂矿粒度主要集中在 $-0.28+0.098\text{ mm}$ 之间, 含有一定量的钒、钛, 属于钒钛磁铁矿资源。采用粗选抛尾-粗精矿再磨-磁选的流程, 可获得精矿产率 28.13% , TFe品位 53.09% , V_2O_5 品位 0.76% , TiO_2 品位 7.16% 。该铁砂矿相对于某鞍山式铁矿选矿尾矿的可磨性略好。此类钒钛铁矿资源开发成本低, 可参考国内攀钢等企业生产方式, 对其中的铁、钒、钛进行综合回收利用。

关键词:海滨铁砂矿; 选矿; 钒钛磁铁矿; 综合利用

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.02.006

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2016)02-0029-05

海滨铁砂矿是火山爆发时, 火山流出的岩浆/火山灰, 从火山口冒出经山谷、河道涌到低地最终流向大海, 经过几十、百千万年形成海岸低地沉积地而形成的铁砂矿床。其特点是易于采选, 面积大、厚度厚、分布均匀、储量大。海滨铁砂矿在日本、菲律宾、印度尼西亚、马来西亚、澳大利亚、新西兰等近海国家分布广泛^[1-4]。

目前, 除新西兰北海岸的含钒钛海滨砂矿通过重选获得含钒钛的铁精矿后, 采用回转窑预还原-电炉法得到小规模利用外^[5], 其他尚未得到利用。海滨砂矿由于易采选, 价格低廉, 引起了我国一些钢铁生产企业的关注。

1 矿石性质

1.1 化学分析

原矿化学多元素分析及铁、钛物相分析, 结果分别见表1~3。

由表1可知, 铁砂矿Fe品位较低, TFe只有 24.80% , 并且含有一定量的钒、钛, 属于低品位钒钛磁铁矿, 可供回收的有价值组份主要是Fe、V和Ti。铁砂矿中对冶炼过程有害的元素S、P的含量较低,

远低于铁精矿质量标准($S \leq 0.1\%$, $P \leq 0.2\%$)。

表1 原矿化学多元素分析/%

Table 1 Chemical analysis of multi-elements of the raw ore

TFe	FeO	SiO_2	CaO	MgO
24.80	15.27	34.70	4.89	12.61
Al_2O_3	S	P	V_2O_5	TiO_2
8.76	0.011	0.026	0.271	2.92

铁砂矿的碱度系数 $(\text{MgO}+\text{CaO})/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为0.40, 属于酸性矿石。

表2 原矿中铁的物相分析

Table 2 Analysis of iron phase

名称	钛磁铁矿	钛铁矿	菱铁矿	赤(褐)铁矿	黄铁矿	硅酸铁	合计
含量/%	13.95	4.32	2.20	2.46	0.06	1.79	24.80
占有率/%	56.26	17.42	8.90	9.94	0.25	7.22	100.00

表3 原矿中钛的物相分析

Table 3 Analysis of titanium phase

名称	钛磁铁矿	钛铁矿	金红石	硅酸盐	合计
含量/%	1.85	0.86	0.14	0.07	2.92
占有率/%	63.37	29.56	4.64	2.43	100.00

从表2可以看出, 矿砂中铁含量比例最高的为

收稿日期: 2015-05-28; 改回日期: 2015-08-24

作者简介: 杨涛(1983-), 男, 工程师, 硕士, 从事选矿技术研究工作。

钛磁铁矿,其次为钛铁矿、赤(褐)铁矿、菱铁矿,硫铁矿和硅酸铁中含量均很低。从表3原矿中钛的物相分析结果中可知,钛主要存在于钛磁铁矿中, TiO_2 占有率为76.37%,其次存在于钛铁矿中,金红石及硅酸盐中只含有少量的钛。

从上述物相分析结果看,Fe和Ti主要存在于钛磁铁矿中,磁选难以分离,磁选精矿难以获得较高的Fe含量,大部分Ti将会随着Fe进行富集。

1.2 粒度特性

为了解海砂矿中金属在不同粒度下的分布情况,对矿样进行了粒度筛析,结果见表4。

表4 原矿粒度筛析结果

Table 4 Screening results of particle size

粒级/mm	产率/%	品位%		分布率%	
		TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
+0.90	1.20	10.33	0.74	0.50	0.30
-0.90+0.28	14.70	10.89	1.03	6.46	5.19
-0.28+0.15	50.40	19.27	2.35	39.17	40.56
-0.15+0.098	31.00	37.83	4.43	47.29	47.03
-0.098+0.074	2.00	48.09	8.03	3.88	5.50
-0.074	0.70	41.85	6.01	1.18	1.44
合计	100.00	24.80	2.92	100.00	100.00

从粒度筛析结果看,印尼海砂矿粒度分布不均匀,+0.90 mm和-0.074 mm粒级的含量都很低,粒度分布主要集中在-0.28+0.098 mm之间,而铁及钛矿物也主要分布在这一粒度区间。

2 可选性试验

根据矿石物相分析结果可知,铁矿砂中的铁以磁性铁为主,采用磁选的方法能够有效地抛弃大量的脉石矿物,使铁矿物得到较好的富集。因此,采用磁选的方式对印尼海砂矿进行可选性试验研究。

2.1 粗选抛尾试验

为减少铁矿砂入磨的矿石量,对矿砂进行预先粗选抛尾试验。考察在不同磁场强度下,铁矿砂磁选管粗选抛尾的试验效果。试验结果见图1。

从图1可以看出,随着磁场强度从80 kA/m增大到160 kA/m时,磁选精矿的产率从30.85%增加到34.66%,TFe回收率从58.57%增至62.88%, TiO_2 回收率从71.63%增至70.39%。随之提高,而精矿中TFe品位从47.08%降到44.99%, TiO_2 品位从6.78%降到5.93%。

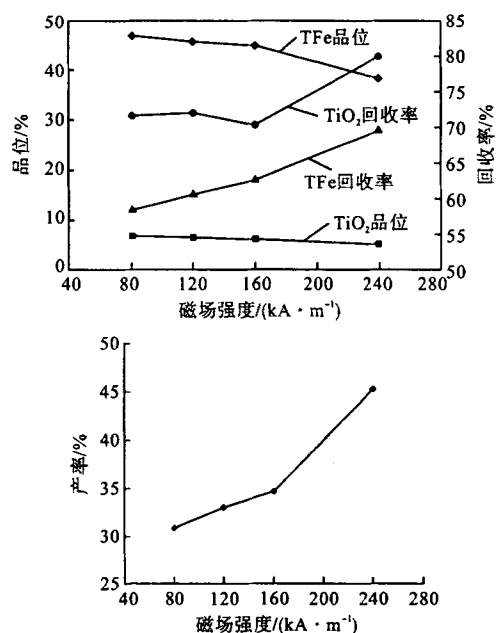


图1 不同磁场强度的粗磁选试验结果

Fig. 1 Roughing magnetic separation results of different magnetic field intensity

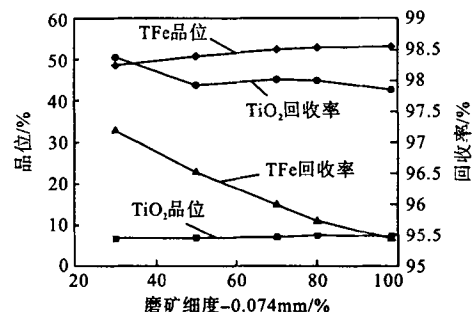
当磁场强度从160 kA/m提高到240 kA/m时,精矿产率从34.66%增加到45.32%,增幅较大,而精矿TFe品位也从44.99%降到38.23%,降幅较大。为尽早抛尾,减少入磨量,选择在粗选磁场强度为160 kA/m。此时,获得的铁精矿指标见表5。

表5 粗磁选试验结果

产品名称	产率%	品位%		回收率%	
		TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
粗精矿	34.66	44.99	5.93	62.88	70.39
尾矿	65.34	14.09	1.32	37.12	29.61
原矿	100.00	24.80	2.92	100.00	100.00

2.2 粗精矿不同磨矿细度再选试验

为提高最终精矿品位,对粗选精矿进行再磨再选试验。考察粗选精矿在不同的磨矿细度下,进行磁选管磁选(80 kA/m)试验,磁选试验结果见图2。



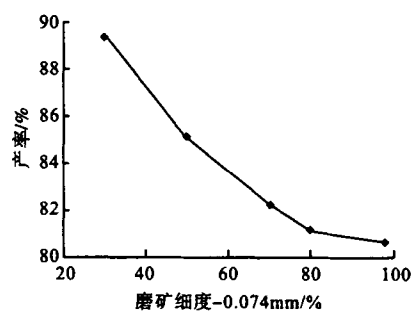


图 2 不同磨矿细度下的磁选管磁选试验结果

Fig. 2 Magnetic tube test results at different grinding fineness

从图 2 可以看出,随着磨矿细度的增加, - 0. 074 mm 含量由 30% 增加到 80% 时,再选精矿 TFe 品位由 48. 96% 增加到 53. 09% , TiO₂ 品位由 6. 53% 增加到 7. 16% ;再细磨至 -0. 074 mm 98% 时,精矿 TFe 品位增至 53. 28% , TiO₂ 品位增至 7. 20% ,增加幅度均变小。同时,在细磨过程中,精矿产率以及 TFe 和 TiO₂ 的回收率均出现下降。

当磨矿 -0. 074 mm 80% 时,铁精矿 TFe 和 TiO₂ 品位趋于稳定, -0. 074 mm 98% 时,精矿品位增加幅度不大。因此,为保证精矿品位,同时减少磨矿的能耗,建议最终的粗精矿再选磨矿粒度为 -0. 074 mm 80%。此时,获得的铁精矿指标见表 6。

表 6 粗精矿磨至 -0. 074 mm 80% 再选试验结果

Table 6 Reconcentration test results of -0. 074mm 80% of coarse concentrate

产品名称	产率%	品位%		回收率%	
		TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
精矿	81. 15	53. 09	7. 16	95. 76	97. 98
尾矿	18. 85	10. 12	0. 64	4. 24	2. 02
原矿	100. 00	44. 99	5. 93	100. 00	100. 00

在粗精矿再选精矿过程中, TiO₂ 的含量随着 TFe 的增加而增加,磁选精矿难以获得较高的 Fe 含量。当再磨细度为 -0. 074 mm 98% 时,精矿 TFe 品位也仅为 53. 28%。这说明该矿砂中的铁、钛分离困难,主要是由于矿石中的铁钛共生紧密所造成的。

2. 3 粗精矿不同磁场强度试验

为考察磁场强度对粗精矿再磨磁选的影响,选择磨矿细度 -0. 074 mm 80% ,进行不同磁场强度的磁选试验,结果见表 7。

表 7 粗精矿不同磁场强度再选试验结果

Table 7 Reconcentration test results of coarse concentrate at different magnetic field intensity

磁场强度/ (kA · m ⁻¹)	产品 名称	产率 /%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
60 kA/m	精矿	80. 95	53. 12	7. 17	95. 58	97. 88
	尾矿	19. 05	10. 44	0. 66	4. 42	2. 12
	原矿	100. 00	44. 99	5. 93	100. 00	100. 00
80 kA/m	精矿	81. 15	53. 09	7. 16	95. 76	97. 98
	尾矿	18. 85	10. 12	0. 64	4. 24	2. 02
	原矿	100. 00	44. 99	5. 93	100. 00	100. 00
100 kA/m	精矿	82. 41	52. 44	7. 06	96. 06	98. 11
	尾矿	17. 59	10. 09	0. 63	3. 94	1. 99
	原矿	100. 00	44. 99	5. 93	100. 00	100. 00

从表 7 中可以看出,随着磁场强度的增加,精矿产率和回收率都有一定幅度的增加。当磁场强度从 60 kA/m 提高到 80 kA/m 时, TFe 和 TiO₂ 品位下降较少;当磁场强度从 80 kA/m 提高到 100 kA/m 时, TFe 和 TiO₂ 品位降低幅度较高。为保证最终精矿合理的品位、回收率和产率,选择 80 kA/m 为粗精矿再选的磁场强度。

2. 4 综合条件试验

根据以上各种条件试验的结果,选择较佳条件进行综合条件试验。综合条件试验工艺流程见图 3,试验结果见表 8。

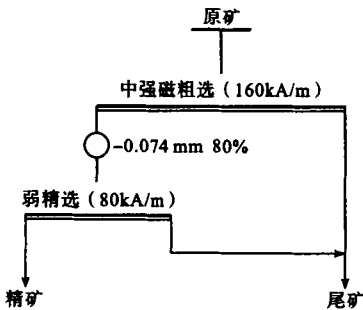


图 3 选矿原则工艺路程

Fig. 3 Principle process of beneficiation

表 8 综合条件试验结果

Table 8 Test results of comprehensive condition

产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
		TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
精矿	28. 13	53. 09	7. 16	60. 22	68. 98
尾矿	71. 87	10. 12	0. 64	39. 78	31. 02
原矿	100. 00	24. 80	2. 92	100. 00	100. 00

按照该流程获得的最终精矿质量结果见表 9, 精矿产率 28. 13% , TFe 品位 53. 09% , 回收率

60.22%, TiO_2 品位 7.16%, 回收率 68.98%。

表 9 最终精矿质量结果/%

Table 9 Quality results of the final concentrate

TFe	FeO	SiO_2	CaO	MgO
53.09	29.24	6.41	0.68	5.23
Al_2O_3	S	P	V_2O_5	TiO_2
6.32	0.009	0.012	0.76	7.16

3 相对可磨度的测定

根据表 4 的粒度分析结果可知,该铁砂矿中处于 -0.9 mm 99.5%。这表明,其在开采之后不需要经过破碎环节,可直接进行磨矿处理。因此,此类海滨铁砂资源的可磨性,成为其选别处理需要考虑的重要因素。为验证该海滨铁砂矿的可磨性,选用迁安某鞍山式磁铁矿的尾矿再选粗精矿为标准矿样,与该铁砂矿经 160 kA/m 中强磁粗选的精矿进行相对可磨度对比试验。

试验采用开路磨矿测定法,将标准矿样和经 160 kA/m 中强磁粗选的海滨砂矿精矿矿样均筛出 $-1+0.074 \text{ mm}$ 级别,并在同一球磨机中,相同的磨矿条件下进行不同时间的磨矿,并对磨矿产品测定新生成的 -0.074 mm 含量。相对可磨度曲线见图 4。

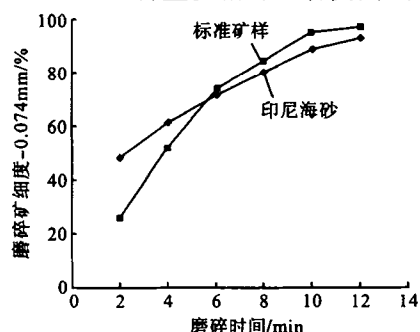


图 4 印尼海砂与标准铁矿相对可磨度曲线

Fig. 4 The grindability curve of Indonesia sand and standard iron ore

相对可磨度系数按下式计算:

$$K = \frac{T_1}{T_0}$$

式中: K ——相对可磨度系数;

T_0 ——标准矿样磨矿时间, min;

T_1 ——试验矿石磨矿时间, min。

由图 4 可以看出,按照试验最终磨矿粒度 -0.074 mm 80% 计,印尼铁砂矿用时 T_1 为 7.3 min, 标准矿样用时 T_0 为 7.9 min, 印尼铁砂矿相对标准

矿样相对可磨度系数值为:

$$K_{80\% - 0.074\text{mm}} = \frac{7.3}{7.9} = 0.92$$

试验表明,磨至 -0.074 mm 80% 时,印尼铁砂矿比标准矿样好磨。

4 关于某印尼某海滨铁砂精矿利用的思考

印尼某海滨铁砂矿作为一种砂状的铁矿资源,在海边赋存面积广、储存量大,其赋存状态决定了开采条件简单,在生产过程中省略了穿孔、爆破、剥岩、破碎、粗磨等工艺环节,相当于尾矿的再选处理,其生产成本将会比较低。

由于在该铁砂矿中铁和钛主要存在于钛磁铁矿中,磁选难以分离,对其进行选矿试验获得的铁精矿品位不高, TFe 含量仅为 53.09%。同时,铁精矿中富集了 7.16% 的 TiO_2 和 0.76% V_2O_5 。其中,铁精矿中含有 TiO_2 可以生产“含钛球团”用作高炉“护炉”或“补炉”的原料, V_2O_5 的含量达到了钒精矿的质量标准,有回收的价值。选矿试验粗磁选直接抛尾的尾矿中 TFe 和 TiO_2 的含量比较低,分别为 14.09% 和 1.32%,进行再回收的经济性不高,可作为尾矿回填到采空区。

印尼海滨铁砂精矿与新西兰海滨铁砂精矿 60% 的铁品位相比偏低,但与我国攀钢生产的钒钛磁铁矿精矿铁品位约 54% (其中, TiO_2 : 12.5–13.5%, $\text{V}_2\text{O}_5 = 0.5\text{--}0.6\%$) 接近^[6-8], 并且其精矿也含有一定的钒、钛等元素。以此类资源作为主要原料,打造一个类似攀钢的具有“提钒”、“提钛”功能的钢铁企业,将可能是合理利用该资源的较佳途径之一。

如果此类海滨铁砂矿资源能够得到经济合理的利用,则可能成为铁矿资源开发的“新的亮点”;在当前国际铁矿石“卖方市场”的格局下,也将具有重大意义。

5 结 论

(1) 印尼某海滨铁砂矿中铁的存在形式主要以磁性铁为主,并含有一定量的钒和钛。铁砂矿的粒度主要集中在 $-0.28+0.098 \text{ mm}$ 之间。

(2) 铁砂矿采用粗选-再磨磁选的流程,控制最终磨矿细度 -0.074 mm 80% 时,得到的精矿质量指标为产率 28.13%, TFe 品位 53.09%, 回收率

60.22%, TiO_2 品位 7.16%, 回收率 68.98%。其中, 在磁选过程中, Ti 会随着 Fe 进行富集。

(3) 该类海滨铁砂矿资源在开采后, 无需经过破碎环节, 可直接进入磨矿选别工艺流程。而在磨至 -0.074 mm 80% 时, 印尼某海滨铁砂矿的可磨性相对于迁安某鞍山式磁铁矿要好。

(4) 该类海滨铁砂矿资源分布面积广、储存量大、开发成本低, 如果能够得到经济合理利用, 则可对我国钢铁工业铁矿石资源战略具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 龙运波, 张裕书, 闫武, 等. 印度尼西亚某海滨含铁砂矿选矿试验研究[J]. 金属矿山, 2010(9): 51-53.
- [2] 洪秉信, 傅文章. 印尼某海滨砂钒钛磁铁矿物质组成研究[J]. 矿产综合利用, 2012(5): 44-49.
- [3] 陈军, 周平, 姜亚雄, 等. 印度尼西亚某海滨砂铁矿选矿工艺研究[J]. 矿冶, 2013, 22(1): 22-25.
- [4] 卫敏, 李英堂, 吴东印, 等. 印尼桑义赫岛海滨砂矿可选性试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2009(2): 33-36.
- [5] 吴舜华. 含钒钛海滨砂矿的合理利用途径[J]. 烧结球团, 2011, 36(2): 35-40.
- [6] 邓君, 薛逊, 刘功国. 攀钢钒钛磁铁矿资源综合利用现状与发展[J]. 材料与冶金学报, 2007(2): 83-86.
- [7] 徐丽君, 李亮, 陈六限, 等. 攀西地区钒钛磁铁矿综合回收利用现状及发展方向[J]. 四川有色金属, 2011(1): 1-5.
- [8] 陈勇. 攀钢开发利用攀西钒钛磁铁矿资源的实践[J]. 钢铁钒钛, 2009, 30(4): 76-79.

Research on Developing and Utilizing an Indonesia Beach Iron Sand

Yang Tao¹, Chen Hanyu², Song Fumei¹, Wang Bin¹, Cui Guoliang¹

(1. Shougang Research Institute of Technology, Beijing, China;

2. Shougang Chief Engineer Office, Beijing, China)

Abstract: Based on series of separate experimental study and grindability study on the iron sands from Indonesia beach, the mineral composition and the processing flowsheet of the iron sands were determined, the possibility of exploiting seaside iron sands was also identified. The results showed that the iron sands' granularity mainly between -0.28 +0.098mm, contained some V and Ti elements, were an iron-vanadium-titanium magnetite. By adopting a beneficiation flowsheet of roughing discarding tailings-coarse concentrate regrinding-magnetic separation, a concentrate with the yield of 28.13%, Fe grade of 53.09%, V_2O_5 grade of 0.76%, TiO_2 grade of 7.16% was obtained. The grindability is slightly better than An-Shan iron ore tailings. The developed cost of the beach iron sands resources is very low. The beach iron sands resources can be used like Pan-zhi-hua steel, comprehensively recycling the iron, vanadium, titanium.

Keywords: Beach iron sands; Separate; Vanadium-titanium magnetite; Utilization

(上接 28 页)

Application of Process Mineralogy and Research of Extraction Metallurgy in Refractory Gold Process Selection

Ding Wentao, Cai Chuangkai, Xu Xiaoyang, Guo Jinyi, You Tianshou

(Xiamen Zijin Mining and Metallurgy Technology Co., Ltd., Xiamen, Fujian, China)

Abstract: Three processes including conventional cyanide leaching, cyanide leach residue grinding-cyaniding and ultrafine grinding-pretreatment-cyaniding were used to treat a high sulfur and high arsenic refractory gold ore in north-west China. The leaching rate of gold was 55% ~ 59% in conventional cyanide leaching and 68.3% after regrinding, especially in the ultrafine grinding process it reached 82.39%. Process mineralogy study on cyanide slag phase indicates that part of sulfide ore could be leached after regrinding, while most of sulfide ore could be leached after ultrafine grinding. In the three processes, gold locked in quartz cannot be extracted.

Keywords: Refractory gold ore; Process mineralogy; Ultrafine grinding; Extraction metallurgy