

文章编号:1674-2869(2011)03-0048-05

# 宜昌花果树磷矿重介质选别工业生产实践

魏祥松<sup>1</sup>,黄启生<sup>2</sup>,李宇新<sup>2</sup>

(1. 中化地质矿山总局地质研究院,河北 涿州 072754;

2. 湖北宜化矿业有限责任公司,湖北 宜昌 443100)

**摘 要:**通过对我国首家磷矿重介质选厂花果树矿选矿厂的技术改造,引进煤炭选矿中广泛应用的重介质三产品旋流器,以全粒级不分级入选,在较高分选密度(2.88~2.90)下,对微差比重矿物分离获得成功.经对常用的旋流器进行改造内置高耐磨材料,从而极大地减少了运行成本.完善了介质控制、回收与净化系统,有效地减少了介质污染、密度变化、矿介分离的不稳定性,确保工业化正常生产,并形成了 120 万 t/a 的洁净生产规模,对同类矿的选别起到了良好的引领作用.

**关键词:**重介质;磷;旋流器;分选;工业化

**中图分类号:**TD922<sup>+</sup>.7;TD97

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.03.014

## 0 引 言

宜昌地区是我国的五大重点聚磷区之一,但其磷矿的平均品位低,绝大部分为原矿  $P_2O_5$  18%~30% 中低品位资源,一般为其中可直接利用的富矿仅占储量的 13%<sup>[1]</sup>. 为有效合理的大规模开发利用该资源,原化工部投入了大量的人力物力,组织科研、设计、生产单位进行攻关,并于 1989 年兴建了规模为 20 万 t/a 的花果树重介质选矿试验厂,1992 年建成,试运行 508 h,获得了可靠的数据与资料<sup>[2]</sup>,因当时的技术经济条件所限,选矿生产成本高,缺乏市场竞争力而停产.

2005 年初,湖北宜化矿业公司根据企业和市场需求,决定恢复花果树重介质选矿工艺,通过与科研院所的联合攻关,选定在煤炭重选中成熟应用的重介质三产品旋流器<sup>[3]</sup>替代原有的

两产品旋流器,并对其技术参数和耐磨性能进行改造,使之适用于微差比重的分选和提高高密度、高硬度下的耐磨性,当年十月改造建成 30 万 t/a 的选厂,并在生产过程中通过技术攻关与改造,完善了选别工艺和洁净生产措施,确保了生产的稳定性,为满足企业发展和市场需要,该厂于 2008 年改扩建为 120 万 t/a 的生产规模,经济效益显著提高.

## 1 矿石性质

矿石自然类型主要有泥硅质条带状磷块岩、白云质条带状磷块岩、白云质砂屑磷块岩、含磷白云岩;矿石工业类型主要有泥硅质磷矿、钙镁质磷矿;矿石特征为含碳的泥硅质条带状磷块岩、白云质条带状磷块岩、白云质砂屑磷块岩.矿石的化学组成见表 1.

表 1 矿石的化学组成

Table 1 Mineral chemical composition

项目	$P_2O_5$	MgO	CaO	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$K_2O$	$Na_2O$	F	$CO_2$	S 有效	H. P	CL
$w/\%$	23.38	3.50	37.32	18.12	4.45	1.63	2.11	0.42	2.01	6.55	1.83	22.14	0.047

各矿层中的磷块岩条带和脉石条带宽度较大,其中上贫矿和下贫矿的磷块岩条带宽度和脉石宽度大于 2 mm 的占 94% 以上,特别是中富矿的磷块岩条带全部集中在 2 mm 到 18 mm 之间,因此从条带宽度来看该矿石完全具备磷矿重介质选矿的工艺特性.

## 2 实验室重液选矿试验

当原矿品位  $P_2O_5$  23.80%,分选粒级为 -15 mm+0.5 mm,分离重液密度为 2.89 时,实验室重液选矿试验结果为:精矿产率 73.97%,精矿品位  $P_2O_5$  30.79%、含 MgO 1.44%,精矿回收

收稿日期:2010-11-20

作者简介:魏祥松(1963-),男,湖北汉川人,高级工程师.研究方向:磷矿选矿.

率 87.61%(见表 2). -15 mm+0.5 mm 原矿重 选可选性曲线见图 1.

表 2 重选理论分选指标

Table 2 Theoretical separation indexes of gravity separation

粒级/mm	分离 密度/ $\delta$	精矿						邻近密度矿 物含量 $\delta\pm 0.1$	可选性
		产率/%		品位/%		$P_2O_5$ 回收率/%			
		对本级	对原矿	$P_2O_5$	MgO	对本级	对原矿		
-10+0.5	2.85	77.86	69.89	29.81	1.77	97.46	87.39	28.39	很难选
	2.86	76.46	68.63	30.18	1.63	96.92	86.88	29.21	
	2.87	75.13	67.44	30.52	1.53	96.28	86.33	30.18	
	2.88	73.84	66.28	30.81	1.44	95.55	85.66	31.34	
-15+0.5	2.86	77.68	71.08	29.99	1.67	97.26	89.61	28.45	很难选
	2.87	76.44	69.95	30.28	1.58	96.66	89.03	30.09	
	2.88	75.22	68.83	30.55	1.51	95.95	88.39	32.13	
	2.89	73.97	67.69	30.79	1.44	95.09	87.61	34.66	
-20+0.5	2.86	77.13	70.78	29.92	1.89	96.95	88.91	30.73	特别难选
	2.87	76.01	69.75	30.17	1.81	96.38	88.35	32.79	
	2.91	70.95	65.11	31.06	1.52	92.45	84.90	44.27	

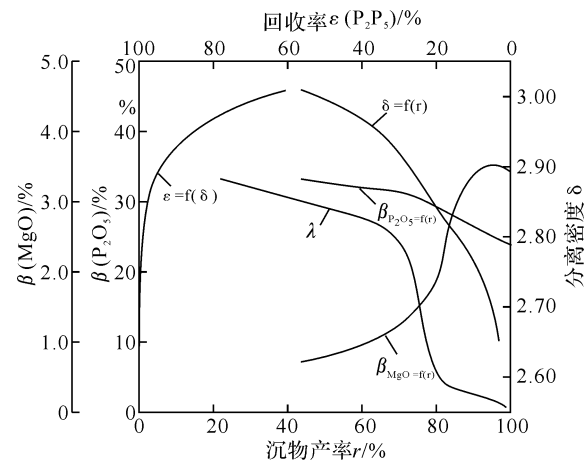


图 1 -15+0.5 mm 原矿重选可选性曲线

Fig. 1 Beneficiability curve of gravity separation of -15 mm+0.5 mm ore

试验研究表明:当分离密度  $\delta$  为 2.85~2.91 时,邻近比重物含量  $P_2O_5$  都在 30%左右,属难重选矿.其磷块岩条带以密度大于 2.95 为主,白云岩条带密度在 2.85 左右,因此要有效分选密度差为 0.1 的磷块岩和白云岩(0.1 的分选密度差是重介质选矿的最低要求),要求有较高分选精度的重介质分选装备和对分选密度的稳定控制.

从表 1 的试验结果来看,0.5~15 mm 粒级矿样的工艺指标明显比 0.5~20 mm 和 0.5~10 mm 粒级好,其分选密度在 2.86 到 2.89 之间时所获得的合格精矿的  $P_2O_5$ 、MgO,产率和回收率等指标变化较小,有利于分选密度的控制.

### 3 磷矿重介质选矿工业生产实例

#### 3.1 选矿生产工艺流程和设备

原矿经三段一闭路破碎后,全粒级进入三产品重介质旋流器选别,底流经脱介筛脱介后获得粗粒精矿,筛下产物经磁选—浓缩后,获得细粒精矿;一段溢流和二段溢流合并,经脱介筛脱介后获得粗粒尾矿,筛下产物经磁选—浓缩—过滤后得到细粒尾矿.选矿工艺指标见表 3.

选矿主要设备有:重介质无压给料三产品旋流器 3PNWX850/600,脱介筛 PZK2448  $F=11.52\text{ m}^2$ 、 $\Phi=0.75\text{ mm}$ ,磁选机  $\Phi914\times2972$  型 750 高斯,尾矿陶瓷过滤机,介质自动控制为微机核密度计 FB-2300,原矿给料 FB-1330F 型微机核子称.

#### 3.2 选矿流程考查

3.2.1 破碎流程考查 流程考查期间以花果树矿段全层矿为主,或部分外购低品位矿,破碎产品的筛分结果见表 4.由表 4 可见,+17 mm 的分布率仅为 0.75%,入选原矿的粒级占入选物料的 99.25%,破碎工艺可达到确保小于 17 mm 的粒度要求.

3.2.2 重介质选矿产品考查 在流程考查期间,将重介质选别获得的产品化学分析结果见表 5,重液分选结果见表 6.粗粒精矿和细粒精矿合并为总精矿,块尾矿和细粒尾矿合并为总尾矿.

3.2.3 重介质考查 重介质为单一的磁铁矿,

其密度平均值为 4.87 g/cm<sup>3</sup>,粒度组成和品位分介质回收净化系统选用的磁选机为上海伊布见表 7.利,美国磁块.

表 3 生产选矿工艺指标

Table 3 Mineral processing production indexes

名称	产率/%	处理量/(t/h)	日处理量/t	年处理量/(万 t)	品位/%	回收率/%	水分/%
粗粒精矿	64.88	110.48	2209.60	66.29	30.65	84.62	4
精矿	0.77	1.31	26.20	0.79	30.21	0.99	20
粗粒尾矿	21.26	36.20	724.00	21.72	9.35	8.46	5
细粒尾矿	13.09	22.29	445.80	13.37	10.65	5.93	15
总计	100.00	170.28	3405.60	102.17	23.50	100.00	

表 4 破碎产品筛分结果

Table 4 Screening results of crushing products

粒级/mm	+17	−17+10	−10+6	−6+2	−2	合计
质量/kg	0.05	3.24	0.89	2.06	0.45	6.69
分布率/%	0.75	48.43	13.30	30.79	6.73	100.00

表 5 总精矿和总尾矿化学分析结果

Table 5 Chemical analysis of the total concentrate and tailings

项目	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	F	CO <sub>2</sub>	S
总精矿	30.42	1.48	45.87	8.51	1.43	0.80	0.95	0.5	3.20	6.03	0.23
总尾矿	9.90	7.42	21.02	36.41	10.36	3.17	4.52	0.29	0.28	7.61	4.76

表 6 精、尾矿重液分选结果

Table 6 Separation results of concentrates and tailings heavy liquid

产品名称	密度级别/(g/cm <sup>3</sup> )	产率/%		品位/%		回收率/%	
		个别	累积	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO
精矿	−2.80	1.74	1.74	5.35	1.04	0.30	1.15
	−2.85+2.80	1.65	3.39	7.29	13.23	0.39	13.85
	−2.89+2.85	6.76	10.15	13.58	11.35	2.99	48.67
	−2.94+2.89	2.78	12.93	27.5	2.12	2.49	3.74
	+2.94	87.07	100.00	33.12	0.59	93.83	32.59
	合计	100.00		30.73	1.58	100.00	100.00
尾矿	−2.65	47.14	47.14	2.65	1.78	12.97	11.94
	−2.75+2.65	10.55	57.69	6.83	6.23	7.48	9.35
	−2.80+2.75	19.44	77.13	9.65	19.85	19.48	54.92
	−2.85+2.80	5.23	82.36	10.51	20.29	5.71	15.10
	−2.89+2.85	2.38	84.74	23.19	10.45	5.73	3.54
	−2.94+2.89	5.76	90.50	27.87	4.36	16.67	3.57
	+2.89	9.50	100.00	32.40	1.16	31.96	1.57
	合计			9.63	7.03	100.00	100.00

表 7 磁铁矿加重剂不同粒度产物的分布情况

Table 7 Distribution of different particle size magnetite weighting agent products

粒级/mm	产率/%		TFe 品位/%
	个别	累积	
+0.20	0.01	0.01	30.01
−0.20+0.15	0.61	0.62	52.45
−0.15+0.10	7.69	8.31	62.77
−0.10+0.075	16.87	25.18	65.82
−0.075+0.045	23.65	48.83	66.13
−0.045	51.17	100.00	68.25
合计	100.00		66.82

根据考查结果,介质损失量  $G_m$  为:5.565 (kg/t精矿).

3.2.4 分选精度考查 重介质旋流器的分选精度,通常用分离可能误差,即 EP 值来表示.由图

可以计算出重介质选矿选别的 EP 值为 0.066 0,分离系数的计算结果见表 8.重介质旋流器选矿分离曲线见图 2.

表 8 重介质旋流器分离系数的测定结果

Table 8 The measured results of heavy medium cyclone separation factors

介质密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	产率/%			分离系数
	浮物	沉物	合计	
−2.75	15.85	6.25	22.1	0.28
−2.80+2.75	4.20	3.71	7.91	0.47
−2.85+2.80	3.97	6.80	10.77	0.63
−2.89+2.85	3.57	8.21	11.78	0.70
−2.96+2.89	3.26	13.72	16.98	0.81
+2.96	3.50	26.96	30.46	0.89
合计	34.35	65.65	100.00	

由图 2 可以查得重介质选矿的有效分离密度

为 2.871.

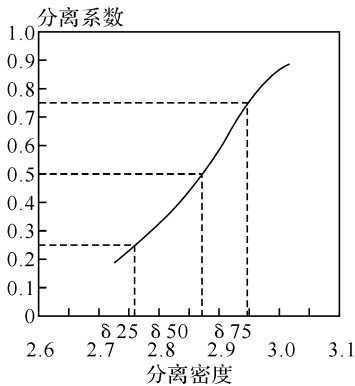


图 2 重介质旋流器选矿分离曲线

Fig. 2 Separation curve of heavy medium cyclone

3.3 自动控制

系统合格介质微机核密度计实际测量精度  $\pm 0.001\text{ g/cm}^3$ ,浓介质微机和密度计实际测量精度  $\pm 0.002\text{ g/cm}^3$ ,合格介质微机密度计及浓介质密度计控制精度为  $\pm 0.015\text{ g/cm}^3$ .在所需的介质密度范围内,对介质密度控制影响不大.

选用 CG 型电感式磁性物含量测量仪,测量指示合格介质磁性物含量.为了保证循环介质密度质量,要求循环介质在投矿过程中污染要小,介质中非磁性物含量在规定范围内.通过本仪表检测循环介质中磁性物含量来了解介质污染情况,合理控制分流装置,根据磁性物含量指示仪指示的数据,适时向介质桶打分流,借以维持循环介质密度质量.

在重介质选矿过程中,控制介质密度在指定的波动范围内,是保证获得稳定可靠的选矿指标的关键因素之一.循环介质非磁性物含量的检测指示和定压漏斗、合格介质桶、缓冲矿仓料(液)位的测量指示及报警系统,为介质正常循环,工艺流程的顺利实施,稳定密度,保证磷精矿品位,提高精矿回收率,起到了良好的保障作用.原矿及精矿输送机,选用微机核子称来准确计量原矿的投入量及精矿的选出量.

由图 3 可以看出,仪表在  $\rho_0(\pm 0.3\text{ g/cm}^3)$  范围内线性良好,本实验的介质密度变化范围在  $2.00\sim 2.60\text{ g/cm}^3$  之间,处在仪表的范围之内; $N-\rho$ 称与  $N-\rho$ 测两条关系线的斜率略有不同,这些将引起测量误差,此仍由于  $K_\rho$  值选值不够准确所造成,有待改进,但在本试验所需的介质密度范围内,其测量误差约为  $\pm 0.3\%$ ,故对介质密度控制影响不大.

为了精确计量原矿的投入量以及精矿的产量,在原矿 5# 皮带输送机及精矿 7# 皮带输送机

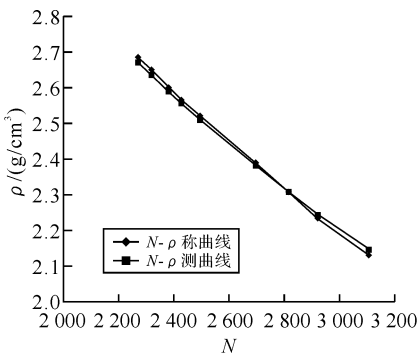


图 3 静态试验  $N-\rho$  曲线

Fig. 3  $N-\rho$  curve of static tests

上分别安装了 FB-1330F 型微机核子称.

FB-1330F 型微机核子称是微机化、高精度、高稳定性、多功能的新一代同位素仪表,是一种非接触式计量仪器,与电子皮带秤相比较,其主要特点是不受物料高温腐蚀性影响,不受皮带张力、磨损、振动、惯性力等因素的影响,可在恶劣环境下工作,操作简便,使用安全便于维护,传输距离远,抗干扰性强,标定工作不复杂.

微机核子称结构简单,它由  $\gamma$  射线放射源及铅罐、A 型支架、 $\gamma$  射线探测器、速度传感器及微机处理指示系统所组成.

经上述流程考查,将粒级  $-17\text{ mm}$ 、品位  $\text{P}_2\text{O}_5$  23.50%的矿石,经重介质分选后可获得精矿产率 65.65%、精矿品位  $\text{P}_2\text{O}_5$  30.64%(含  $\text{MgO}$  1.48%)、回收率为 85.60%.选比为 1.523 的较好选矿指标.

4 主要技术特点

将三产品重介质旋流器首次应用于磷矿选矿,实现了全粒级无下限高分选密度 ( $2.87\sim 2.90$ )下微密度差(密度差为 0.1)矿物的分离.从而有效地提高了重介质设备对磷块岩矿与脉石矿物的分选精度.

无压给料,降低了厂房高度和基建投资,有利于矿区建设;降低了矿石的运动速度,减少了介质悬浮液对设备及管路和阀门的磨损.

内衬采用刚玉分段制作,使设备使用寿命增加,并且即使耐磨材料部分磨损,也可随时更换,不整体报废,极大地降低了维修、更换费用.

不脱泥全粒级分选工艺,使全部入选原矿进入到旋流器进行分选,降低旋流器的分选下限,有效地提高选矿回收率.

5 结 语

采用全粒级进无压三产品旋流器,经两次粗选即可获得合格产品,选矿工艺指标为:原矿粒级

—17 mm、品位  $P_2O_5$  23.50%，获得精矿产率 65.65%、精矿品位  $P_2O_5$  30.64%（含 MgO 1.48%）、回收率为 85.60%。

工艺流程中重介质旋流器的分选精度  $E_p$  值达到 0.066，这对磷矿选矿工艺是一个突破。

花果树磷矿重介质选矿的成功，为合理开发利用了中低品位磷资源，有效带动了区域资源的开发利用、扩展资源储量起到了良好的引领作用。生产实践表明：该工艺具有显著的经济、社会和环境效益。

参考文献：

[1] 魏祥松,黄启生,李宇新.花果树磷矿重介质选矿与应用综述[J].化工矿产地质,2010,32(3):186-188.  
[2] 魏祥松,黄启生,李宇新.湖北宜昌花果树磷矿重介质选矿工业生产考查报告[R].宜昌:湖北省宜化集团矿业有限责任公司,2009.  
[3] 刘峰.多供介无压给料三产品重介质旋流器:中国,200620023458X[P].2006-01-26.

Heavy-media separation industrial production practice of Yichang Huaguoshu Phosphorite

WEI Xiang-song<sup>1</sup>, HUANG Qi-sheng<sup>2</sup>, LI Yu-xin<sup>2</sup>

(1. Geological Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Zhuozhou 072754, China;  
2. Hubei Yihua Mining Co., Ltd. Yichang 443100, China)

**Abstract:** Three-products heavy-medium cyclone which is applied in coal concentration widely was introduced in transformation of the first phosphate heavy-media separation concentrator in China. Separation of slight gravity difference minerals was got ahead in high separation density (2.88~2.90) without classifying. Operation costs was decreased greatly by promotion of high wear-resistant materials built-in common heavy-medium cyclone. The medium controlling, recycling and purification systems was improved. Medium pollution, density change, instability of separation of minerals and medium was reduced effectively. Normal production and industrialization was ensured, and a 1.2 million t/a of clean production scale was formed to play a good leading role in the same type mineral processing.

**Key words:** heavy medium;phosphate; cyclone; separation; industrialization

本文编辑:龚晓宁



(上接第 47 页)

Experimental research on phosphorite processing of Hubei Province

LI Yan<sup>1</sup>, HUANG You-liang<sup>1</sup>, QIAO Xiao-feng<sup>2</sup>, YANG Li-zhen<sup>1</sup>

(1. Geological Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Zhuozhou 072754, China;  
2. China Huanqiu Contracting & Engineering Corp. Huabei Planning & Design Institute, Zhuozhou 072754, China)

**Abstract:** A hard-washing phosphorite belongs to marine sedimentary phosphorite deposit, the phosphate minerals of which are mainly micrite apatite, commonly known as cellophane. And the gangue minerals are dolomite, quartz and clay minerals. According to cellophane's characteristics, the paper studies on the joint technical process of dense liquid float and sink process-reverse flotation, which got phosphorus concentrate with  $P_2O_5$  at the grade of more than 31% and MgO about 1%, the recovery rate of above is 88%.

**Key words:** phosphorite; float and sink process-reverse flotation; collector

本文编辑:龚晓宁