

旋流-静态微泡浮选柱 在胶磷矿浮选工艺中的应用

王大鹏¹, 刘炯天¹, 刘江林², 熊明金², 宋永胜¹

(1. 中国矿业大学化工学院, 江苏 徐州 221008; 2. 云南省化工研究院, 云南 昆明 650228)

摘 要:采用旋流-静态微泡浮选柱对某胶磷矿进行了半工业试验研究, 在原矿品位为 23.73% P_2O_5 的情况下通过正-反浮选流程获得了精矿 P_2O_5 品位 29.78%、MgO 品位 0.29%, 回收率 82.69% 的良好指标, 缩短了流程结构. 为浮选柱技术的工业应用进行了积极探索.

关键词:胶磷矿; 浮选柱; 半工业试验; 正反浮选

中图分类号:TD97

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2011.03.002

0 引 言

浮选柱以其高效的分离效率、低廉的投资和运行成本, 已成为国内外正在研究与不断推广的一种新技术. 旋流-静态微泡浮选柱是九五期间普遍推广的新型高效微细粒分选设备. 发展至今天^[1], 已在全国 400 余家选煤厂(煤矿)推广应用 600 多台套; 在黑金属、有色金属及非金属选矿领域, 涉及矿种包括磁铁矿、赤铁矿、金、银、钨、镍、铜、铅、锌、硫、铝土矿、萤石、钾盐等, 用户涵盖武钢、鞍钢、本钢、昆钢、紫金矿业、金川、中铝、柿竹园有色、云铜、招金等大中型企业及部分中小型矿山企业. 2005 年中国矿业大学利用旋流-静态微泡浮选柱($\Phi 50 \times 2\,000$ mm)进行了胶磷矿浮选柱两段式分选实验室试验研究, 经过正-反浮选两段分选得到含 P_2O_5 22.70%、MgO 2.81% 的原矿中分选得到含 P_2O_5 29.07%、MgO 0.86% 的精矿, 精矿产率 69.52%, 精矿回收率 88.73%^[2]. 本文在实验室试验的基础上对西南某硅钙质胶磷矿进行了半工业试验研究, 为实现浮选柱在胶磷矿浮选中的工业化应用进行了积极的探索.

1 矿石性质

1.1 矿石结构

该磷矿按成因划分属浅—滨海相沉积磷块岩. 其矿石按结构构造和矿物组成特点可分为块状球粒磷块岩、条带状球粒磷块岩、条带状白云质

球粒磷块岩、条带状白云质砂屑磷块岩、白云质硅质球粒磷块岩、白云质含砾砂屑磷块岩、白云质生物碎屑球粒磷块岩、淋滤残积磷矿等八个自然类型.

1.2 矿物组成

矿石矿物成分简单, 以胶磷矿为主, 其次为微晶磷灰石及少量细晶磷灰石. 脉石矿物主要有白云石、石英、玉髓, 此外还有少量铁泥质(包括褐铁矿)、黄铁矿、有机质、高岭石及少量白云母、电气石、锆石及海绿石.

1.3 主要矿物的嵌布特征

胶磷矿: 胶磷矿呈球粒(或假鲕粒)、内砂屑、鲕粒和凝胶状结构, 其中以球粒(或假鲕粒)结构为主. 颗粒中常有白云石、铁泥质(部分褐铁矿)、硅质及黄铁矿等其他矿物的尘点状包体, 次生变化可以不同程度地出现白云石化、硅化及高岭石化. 胶磷矿假鲕粒度一般为 0.2~0.1 mm, 颜色为浅棕褐色, 有的往往被铁泥质污染呈红褐色.

白云石: 镜下特征为无色, 粒度一般为 0.04~0.1 mm. 多以胶结物及少量碎屑和重结晶粒状镶嵌等形态出现. 一般为细晶—隐晶质细粒集合体, 少量呈菱面体碎屑. 部分矿石可见重结晶镶嵌白云石, 具自形—半自形粒状结构. 有时可见半滚圆—滚圆状及椭圆状球粒白云石, 部分构成颗粒胶磷矿的包裹体.

石英、玉髓: 石英在各类型矿石中都有出现, 一般为陆源混入的砂屑和粉砂屑, 呈棱角—半滚

收稿日期: 2010-08-21

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目-大型柱式高效分选设备及短流程分选工艺开发(2008BAB31B02)

作者简介: 王大鹏(1983-), 男, 河南新乡人, 博士研究生. 研究方向: 柱分选方法与微细粒级矿物分选.

圆状, 粒径 0.05~0.2 mm, 在大的颗粒中有泥质尘点及白云母小包体, 普遍可见到再生边. 玉髓一般以胶结物出现, 呈显微粒状—细粒状集合体, 具细—隐晶质结构. 并围绕胶磷矿假鲕粒垂直生长, 形成一种栉壳状胶结, 偶尔见到一些孔洞中有胶状或针状集合体玉髓充填.

工艺矿物学分析表明: 易选的磷灰石含量少、粒度细且部分嵌布在胶磷矿集合体内, 不易优先分离; 脉石矿物粒度较细且以胶结物的形式与胶磷矿共存, 微细的碳酸盐类嵌布在胶磷矿内, 不易单体解离, 可选性差, 属难选矿.

1.4 化学组成

矿石中主要化学成分有 P_2O_5 、 CaO 、 SiO_2 , 其次为 CO_2 、 MgO 及 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 F 等. 原矿 X 荧光光谱分析结果见表 1.

表 1 原矿 X 荧光光谱分析结果

Table 1 The result of X ray fluorescence analysis of run-of-mine ore

分析项目	P_2O_5	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	SiO_2	F
含量	23.73	1.55	1.88	2.76	36.49	31.15	0.77

分析可知, 该矿属中低品位硅钙质磷矿, CaO 和 SiO_2 含量占 2/3 以上; SiO_2 含量较高, 主要选矿关键是在富集磷矿物的同时, 有效地排除碳酸盐矿物(白云石), 从而获得镁磷比值较低的磷精矿.

2 试验

2.1 试验流程

胶磷矿柱式半工业试验流程选择主要取决于原矿性质并参考前期实验室研究成果. 该矿属硅钙质胶磷矿, 要生产出合格精矿需同时脱除硅和镁, 适宜的流程有正反流程和双反流程^[3], 原矿性质的分析表明: 脉石矿物硅酸盐类矿物含量高, 是主要的脱除对象. 由于矿石含泥量多, 采用双反浮选会出现泡沫多、泡沫发粘、浮选效果变差的情况^[4], 因此试验流程确定采用正反浮选流程. 通过正浮选排除大量的硅酸盐脉石矿物和部分碳酸盐脉石矿物. 然后对正浮选粗磷精矿(主要是磷矿物和白云石)进行反浮选碳酸盐脉石, 以降低镁含量, 最后获得低镁磷比值的优质磷精矿. 实验室研究结果表明, 旋流-静态微泡浮选柱具有选择性高, 流程结构短的特点, 因此确定采用正浮选(一次)反浮选(一次)两段式的流程结构见图 1.

2.2 药剂

采用现场生产用药剂为正浮选段捕收剂, 药

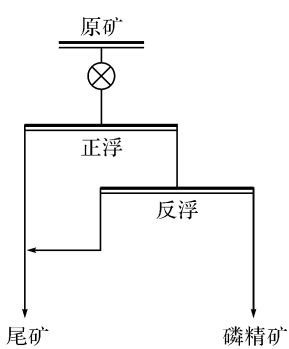


图 1 胶磷矿正反工艺流程图

Fig. 1 The flowsheet of direct-revers flotation of phosphate rock

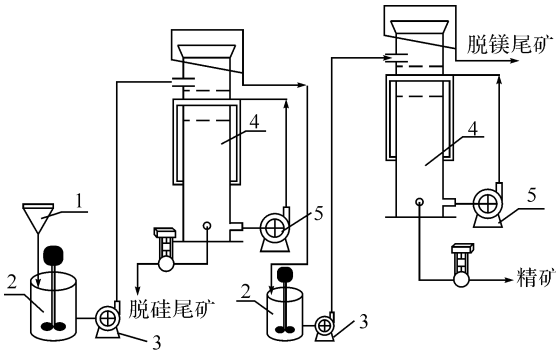
剂代号为 YP2-4, YP2-3 为反浮选段捕收剂; 硫酸为反浮选段介质酸碱度调整剂; 磷酸为胶磷矿抑制剂, 水玻璃为正浮选段硅酸盐类抑制剂和介质酸碱度调整剂.

2.3 分选设备

旋流-静态微泡浮选柱^[5-6]采用柱浮选与旋流分选构成柱分选方法的主体; 旋流分选以其强回收能力在柱分选过程中起到扫选柱浮选中矿的作用. 通过管流矿化沿切向与旋流分选相连, 形成中矿的循环分选. 旋流-静态微泡浮选柱以其在微细粒分选方面的突破以及回收能力的提高使得其在处理微细粒级矿物为主的矿物分选应用越来越多.

2.4 系统组成

浮选柱半工业试验系统由两套 $\Phi 400 \times 4\,000\text{ mm}$ 旋流-静态微泡浮选柱分选系统构成. 浮选柱给料从磨矿车间 II 系列分级旋流器溢流 ($-0.074\text{ mm } 90\%$) 截取, 按试验规模分出需要的矿量进入试验系统. 原矿通过给矿泵输送入正浮选柱; 精矿泡沫经调浆, 泵扬至反浮选柱, 底流为最终精矿. 反浮选泡沫和正浮选脱硅尾矿合并成为最终尾矿. 分流试验设备联系如图 2.



1. 缓冲箱, 2. 搅拌桶, 3. 给矿泵, 4. 浮选柱, 5. 循环泵

图 2 胶磷矿半工业试验系统设备联系图

Fig. 2 The equipments relational graph of flotation column semi-industrial test

3 试验结果

3.1 充气量试验

在前期实验室研究结果的基础上,制定的初始试验条件列于表 2,试验结果见表 3.

表 2 浮选柱试验条件

Table 2 The conditions of flotation column separation

参数	正浮选	反浮选
处理量 kg/h	300	
给矿浓度	30%左右	
给矿细度	-0.074 mm 含量 90%	
pH 值	9.4	5
捕收剂 kg/t	3	/
水玻璃 kg/t	10~18	/
硫酸 kg/t	/	5
磷酸 kg/t	/	2.5
充气流量 m ³ /h	1.2	1.3
循环压力 MPa	0.25	0.22

表 3 浮选柱试验结果

Table 3 The results of flotation column separation test production

序号	样品	品位/%			产率/%	回收率/%
		P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂		
1	原矿	24.01	1.99	29.05	100.00	100.00
	正精	26.39	2.33	22.24	84.93	93.35
	正尾	10.6	0.61	55.37	15.07	6.65
	反精	28.66	0.68	22.86	76.62	91.46
	反尾	5.46	14.46	6.41	8.31	1.89
2	原矿	24.09	1.54	26.51	100.00	100.00
	正精	26.94	2.61	20.12	75.70	89.88
	正尾	9.45	0.36	57.11	24.30	10.12
	反精	28.54	0.52	23.23	70.65	88.87
	反尾	4.55	14.33	5.55	5.05	1.01
3	原矿	24.01	1.92	29.05	100.00	100.00
	正精	25.88	1.95	22.24	87.76	94.60
	正尾	10.60	0.61	55.37	12.24	5.40
	反精	27.04	1.31	22.86	83.04	93.52
	反尾	5.46	14.46	6.41	4.72	1.07

由试验结果可以看出:

精矿 P₂O₅ 品位 27.04%~28.66%,MgO 品位0.3%~0.7%,回收率 90%左右.精矿 P₂O₅ 含量较低,与要求还有一定差距;对比正浮选精矿与原矿 P₂O₅ 含量,正浮选精矿品位提升幅度 2%~3%,正浮选脱硅效果不强是制约精矿品位提高的主要障碍.因此正浮选阶段条件参数的调整是提高系统分选效果的关键.通过与浮选机生产泡沫状态对比,在药剂制度相近的条件下,浮选机浮选泡沫尺寸偏大,颜色偏灰.相关研究表明过低的气速使气泡的初始动能较低,使粘附了目的矿物颗粒的矿化气泡难以通过回收到达精选区进行进一步的精选^[7].可见正浮选阶段充气量的调整是提高浮选过程脱硅效果的关键因素.后续试验过程

中调整充气流量至 1.5 m³/h,并保持其他参数固定,试验结果见表 4.

表 4 浮选柱试验结果

Table 4 The results of flotation column separation test production

序号	样品	品位/%			产率/%	回收率/%
		P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂		
1	原矿	25.02	2.65	26.51	100.00	100.00
	正精	27.98	3.56	20.12	80.53	90.05
	正尾	12.78	1.12	57.11	19.47	9.95
	反精	31.69	0.66	23.23	68.63	86.92
	反尾	6.58	13.88	5.55	11.90	3.13
2	原矿	24.89	2.72	29.05	100.00	100.00
	正精	26.82	3.28	22.24	85.65	92.29
	正尾	13.37	0.69	55.37	14.35	7.71
	反精	32.44	0.81	22.86	66.57	86.77
	反尾	7.21	13.57	6.41	19.08	5.53

表 4 结果表明充气流量是影响胶磷矿浮选效果的关键因素,通过调整充气流量改善了浮选状态,获得了合格的指标.

3.2 稳定试验

通过上述试验调整,优化了浮选柱充气量等条件,并经过后续的试验调整制定了适宜的药剂制度等参数.为了验证浮选柱半工业试验系统的稳定性,在前期试验的基础上开展了为期 72 h 的稳定性试验.试验条件见表 5,试验结果如表 6.

表 5 浮选柱稳定试验条件

Table 5 The conditions of flotation column continuous separation

参数	正浮选	反浮选
处理量 kg/h	300	
给矿浓度	30%~35%	
给矿细度	-0.074 mm 含量 90%	
pH 值	9.4	5
捕收剂 kg/t	2.5	/
水玻璃 kg/t	10	/
硫酸 kg/t	/	4
磷酸 kg/t	/	2.5
充气流量 m ³ /h	1.5	1.5
循环压力 MPa	0.25	0.22

稳定试验在入矿品位为 23.73% P₂O₅ 的情况下通过正浮选(一次)反浮选(一次)两段式流程获得了精矿 P₂O₅ 品位 29.78%、MgO 品位 0.29%,回收率 82.69%的良好指标.并且流程大大缩短,充分体现了旋流-静态微泡浮选柱回收能力强、富集比高、选择性强的特点.需要指出的是,试验原料来自生产分流.由于现场原矿矿源较多,试验期间矿样组成有所变化造成精矿指标有一定的波动 P₂O₅ 品位 28.61%~31.40%;精矿中 SiO₂ 品位较高影响了精矿质量,通常 SiO₂ 脱除绝对值^[8] 2%~3%精矿 P₂O₅ 品位可提高 1%,因此进一步

提高浮选过程脱硅的效果是推进浮选柱在胶磷矿浮选中应用的主要研究内容.

表 6 浮选柱稳定试验结果

Table 6 The results of flotation column continuous separation test production

班次	原矿品位/%			精矿品位/%			正尾品位/%			反尾品位/%		产率/%	回收率/%
	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	MgO		
1	22.37	1.99	33.13	29.85	0.35	22.51	15.90	0.54	34.64	6.28	8.47	55.70	74.34
2	23.04	1.68	33.46	28.80	0.35	25.20	14.37	0.29	38.81	6.93	8.90	64.21	80.26
3	24.96	0.96	29.08	28.61	0.30	25.10	13.92	0.21	38.74	12.15	6.58	76.37	87.53
4	23.94	1.65	27.21	31.40	0.23	20.02	13.76	0.30	40.09	7.41	10.38	62.27	81.69
5	23.25	1.72	33.50	29.73	0.24	24.00	12.15	0.33	43.87	8.52	9.53	66.24	84.70
6	23.91	1.59	32.88	30.36	0.28	22.70	12.54	0.32	43.46	7.21	10.73	65.54	83.24
平均	23.73	1.55	31.15	29.78	0.29	23.26	13.73	0.31	40.01	8.31	9.05	65.88	82.69

4 结 语

- a. 原矿中易选的磷灰石含量少、粒度细且部分嵌布在胶磷矿集合体内,不易优先分离;脉石矿物粒度较细且以胶结物的形式与胶磷矿共存,微细的碳酸盐类嵌布在胶磷矿内,不易单体解离,可选性差,属难选矿.
- b. 浮选柱稳定试验在入矿品位为 23.73% P₂O₅ 的情况下,通过正浮选(一次)反浮选(一次)流程获得了精矿 P₂O₅ 品位 29.78%、MgO 品位 0.29%,回收率 82.69%的良好指标.
- c. 进一步提高浮选过程脱硅能力是推进浮选柱在胶磷矿浮选中应用的主要研究内容.

参考文献:

[1] 刘炯天,王永田,曹亦俊,等. 浮选柱技术的研究现状

及发展趋势[J]. 选煤技术,2006,34(5):25-29.

[2] 中国矿业大学. 胶磷矿浮选柱两段式分选试验研究报告[R]. 徐州:中国矿业大学浮选柱研究中心,2005.

[3] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱及洁净煤制备研究[D]. 北京:中国矿业大学化工学院,1998.

[4] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱分选方法及应用(之四):旋流力场分离与强化回收机制[J]. 选煤技术,2000,28(4):1-4.

[5] 郑其. 胶磷矿的反浮选[J]. 中国矿业,1998,7(2):59-62.

[6] 葛英勇,王凯金,甘顺鹏. 低品位难选胶磷矿的正一反浮选工艺研究[J]. 矿冶工程,2007,27(5):18-21.

[7] 任慧,丁一刚,吴元欣,等. 充填浮选柱正一反浮选胶磷矿工艺研究[J]. 化工矿山技术,2001(2):1-4.

[8] 柏中能. 对云南中低品位磷矿的认识和建议[J]. 云南化工,2007,34(5):23-25.

Application of cyclonic-static micro-bubble flotation column in direct-reverse flotation technology of phosphate rock

WANG Da-peng¹, LIU Jiong-tian¹, LIU Jiang-lin², XIONG Ming-jin¹, SONG Yong-sheng¹

(1. School of Chemical Engineering Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou 2210082, China;
2. Yunnan Research Institute of Chemical Industry, Kunming 650228, China)

Abstract: This study makes a semi-industrial experimental investigation on the phosphate rock by using cyclonic-static micro-bubble flotation column. With the application of direct-reverse flotation process flow, it carries out a good indicator with content of P₂O₅ concentrate 29.78%, content of MgO 0.29%, recovery rate 82.69% when raw mine grade is 23.73%. It shortens the process structure and makes an active exploration on the industrial application of flotation column technology.

Key words: phosphate rock; flotation column; semi-industrial test; direct-reverse flotation

本文编辑:龚晓宁