

基于正交试验的赤铁矿石助磨剂筛选试验研究

徐冬林¹, 王冬², 张旭¹, 吴前峰¹, 亢旭¹, 侯英², 朱巨建², 赵通林²

(1. 鞍钢集团 鞍千矿业有限责任公司, 辽宁 鞍山 114051;

2. 辽宁科技大学 矿业工程学院, 辽宁 鞍山 114051)

摘要: 磨矿过程中添加助磨剂会提高磨矿效率, 本文应用正交筛选试验设计方法对鞍千赤铁矿石进行了助磨剂筛选试验, 并对正交筛选试验设计的结果应用 SPSS19.0 软件进行分析, 确定了影响赤铁矿石磨矿效果的助磨剂。结果表明: 对赤铁矿石磨矿起助磨作用的药剂有: 六偏磷酸钠、焦磷酸钠、氟硅酸钠、羧甲基纤维素钠(CMC)、NM-3、油酸钠、醋酸铵; 助磨效果由好到坏分别为: NM-3, 油酸钠, 醋酸铵, 焦磷酸钠, 六偏磷酸钠, CMC, 氟硅酸钠; 起阻磨作用的药剂为: 水玻璃、碳酸钠、聚丙烯酸钠、十二烷基磺酸钠、十二烷基硫酸钠; 阻磨效果由好到坏分别为: 十二烷基磺酸钠, 碳酸钠, 十二烷基硫酸钠, 水玻璃, 聚丙烯酸钠。

关键词: 赤铁矿石; 助磨剂; 正交试验; 磨矿; SPSS19.0 软件

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.03.017

中图分类号: TD 952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 03-0081-04

在物料粉磨过程中, 加入少量的化学添加剂(气态、液态或固态的化学物质), 能够显著提高粉磨效率或降低粉磨过程的能耗和钢耗, 这种化学添加剂通常称为助磨剂。

关于助磨剂的助磨作用机理, 目前主要有Rehbinder的吸附降低表面能假说、Westwood等的吸附对近表面位错迁移、Klimpel的以降低矿浆粘度为主导的流变学理论及吴明珠的综合假说^[1-2]。

国内外很多学者对助磨剂进行了研究, 研究方法都是采用单因素的条件试验, 在众多助磨剂中, 真正的显著影响磨矿效率的可能并不多, 如何在众多助磨剂中筛选出适宜的助磨剂, 这时就需要对众多可能的影响因素助磨剂作初步筛选, 找出真正对磨矿效率有影响因素。

本文应用正交筛选试验方法^[3], 针对鞍千赤铁矿石进行助磨剂的筛选试验, 找到显著影响磨矿效率的助磨剂。

1 助磨剂正交筛选试验设计

1.1 正交筛选试验设计方案

本文将从助磨剂种类: 水玻璃(A)、六偏磷酸钠(B)、焦磷酸钠(C)、三聚磷酸钠(D)、氟硅酸钠(E)、碳酸钠(F)、CMC(G)、NM-3(H)、腐植酸钠(I)、聚丙烯酰胺(J)、油酸钠(K)、聚丙烯酸钠(L)、丙二醇(M)液体、酒石酸钠(N)、十二烷基磺酸钠(O)、十二烷基硫酸钠(P)、醋酸铵(Q)、三乙醇胺(R)入手, 测定磨矿产品中-0.074 mm含量。利用正交试验设计中的筛选试验方法找出真正对磨矿有影响的助磨剂。试验因素和水平分布见表1, 选用L20(219)正交表(见表2)安排正交筛选试验^[4]。

收稿日期: 2017-11-09

基金项目: 辽宁省教育厅项目(2016TSPY12); 鞍山市科技计划项目(110000144)、辽宁科技大学青年项目(2015QNB)资助

作者简介: 徐冬林(1970-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事选矿技术研究与管理工。

通讯作者: 侯英(1986-), 男, 副教授, 主要从事选矿技术研究与管理工, 18341288088。

表 1 正交筛选试验设计的因素和水平分布

Table 1 Factors of tests and the distribution of levels by screening test of orthogonal

因素	水平		因素	水平		因素	水平	
	0	1		0	1		0	1
A	0 g	2.5 g	H	0 g	2.5 g	O	0 g	2.5 g
B	0 g	2.5 g	I	0 g	2.5 g	P	0 g	2.5 g
C	0 g	2.5 g	J	0 g	2.5 g	Q	0 g	2.5 g
D	0 g	2.5 g	K	0 g	2.5 g	R	0 g	2.22 ml
E	0 g	2.5 g	L	0 g	2.5 g	S		
F	0 g	2.5 g	M	0 g	2.37 ml			
G	0 g	2.5 g	N	0 g	2.5 g			

1.2 正交筛选试验设计步骤

(1) 用电子天平称取矿样 500.0 g, 按照表 2 安排试验 (以第 1 号试验为例);

(2) 磨矿浓度为 70%, 用量筒量取 214 mL 水;

(3) 先加入总水量的 1/3, 然后加入物料, 再加入一定量的助磨剂, 根据表 2 安排试验, 0 水平为不添加助磨剂, 按照磨矿试验质量 500.0 g, 1 水平为添加 2.5 g 助磨剂。1 水平为添加 0.5% 的助磨剂, 最后加入剩余水量;

表 2 L₂₀(2¹⁹) 正交

Table 2 Orthogonalarray of L₂₀(2¹⁹)

试验号	因素																			结果 /Y
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	45.40
2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	59.98
3	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	63.52
4	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	54.30
5	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	51.58
6	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	62.04
7	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	60.44
8	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	52.02
9	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	48.56
10	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	54.42
11	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	36.96
12	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	56.00
13	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	50.24
14	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	51.30
15	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	55.80
16	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	59.42
17	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	42.50
18	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	51.54
19	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	62.36
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	59.18

(4) 进行磨矿, 磨矿时间为 3 min;

(5) 磨矿产品用 0.074 mm 的筛子湿筛, 筛下产品不作分析, 筛上产品用干燥箱烘干, 温度控制在 100℃, 烘干后称重;

(6) 计算产品中 -0.074 mm 的含量作为试验结果, -0.074 mm 的含量越高, 磨矿效果越好。

2 结果分析

数据处理应用 SPSS19.0 软件, 进行拟合效果

分析、方差分析, 确定显著影响试验结果的助磨剂、次要影响试验结果的助磨剂和不影响试验结果的助磨剂。

应用 SPSS19.0 软件对试验结果作方差分析^[4], 选择 SPSS 界面主菜单 [Analyze] → [Regression] → [Linear...], 选择 Y 进入 [Dependent] 因变量框, 选择 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P、Q、R 进入 [Independent(s)] 自变量列表框, 单击 [OK], 得到表 3~5。

表3 模型汇总
Table 3 Model summary

模型	R	R方	调整R方	标准估计的误差
1	1.000*	1.000	0.997	0.35777

*预测变量: R, Q, P, O, N, M, L, K, J, I, H, G, F, E, D, C, B, A.

由表3可以看出,模型的相关系数R=1.000,结果表明,模型的因变量Y(-0.074 mm含量)完全可以用自变量(A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P、Q和R)来表示,建立数学模型的误差较小。

表4 正交试验结果的方差分析
Table 4 Anova of screening tests of orthogonal

模型	平方和	df	均方	F	Sig.	
1	回归	929.106	18	51.617	403.258	0.039*
	残差	0.128	1	0.128		
	总计	929.234	19			

*预测变量: R, Q, P, O, N, M, L, K, J, I, H, G, F, E, D, C, B, A.

由表4可以看出,模型的显著性概率Sig.=0.039<0.05,结果表明,模型的因变量Y(-0.074 mm含量)用自变量(A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P、Q和R)建立的数学模型高度显著,可以应用上述自变量来建立数学模型。

表5 正交试验结果的回归系数
Table 5 Coefficients of screening tests of orthogonal

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差			
(常量)	48.656	0.349		139.531	0.005
A	-2.696	0.160	-0.198	-16.850	0.038
B	2.740	0.160	0.201	17.125	0.037
C	2.756	0.160	0.202	17.225	0.037
D	0.760	0.160	0.056	4.750	0.132
E	1.844	0.160	0.135	11.525	0.055
F	-3.608	0.160	-0.265	-22.550	0.028
G	1.972	0.160	0.145	12.325	0.052
H	9.408	0.160	0.690	58.800	0.011
I	0.256	0.160	0.019	1.600	0.356
J	-.904	0.160	-.066	-5.650	0.112
K	3.352	0.160	0.246	20.950	0.030
L	-1.916	0.160	-0.141	-11.975	0.053
M	1.180	0.160	0.087	7.375	0.086
N	0.384	0.160	0.028	2.400	0.251
O	-4.336	0.160	-.318	-27.100	0.023
P	-3.076	0.160	-.226	-19.225	0.033

Q	2.860	0.160	0.210	17.875	0.036
R	-0.532	0.160	-0.039	-3.325	0.186

由表5可以看出,显著性概率大于0.05的助磨剂为对试验结果影响较小的助磨剂,显著性概率数值越大,对试验结果的影响越小,首先剔除最不显著的因素(腐植酸钠(I))后进行回归分析,根据回归结果再剔除最不显著的因素,直到所有的因素都为显著影响试验结果的因素,即显著性概率都小于0.05,回归分析结果见表6~8。

表6 模型汇总
Table 6 Model summary

模型	R	R方	调整R方	标准估计的误差
1	0.991*	0.982	0.952	1.53735

*预测变量: Q, P, O, L, K, H, G, F, E, C, B, A.

由表6可以看出,模型的相关系数R=0.991,结果表明,模型的因变量Y(-0.074 mm含量)用自变量(A、B、C、E、F、G、H、K、L、O、P和Q)表示时99.1%的概率是正确的,并且建立数学模型的误差较小。

表7 正交试验结果的方差分析
Table 7 Anova of screening tests of orthogonal

模型	平方和	df	均方	F	Sig.	
1	回归	912.690	12	76.058	32.181	0.000*
	残差	16.544	7	2.363		
	总计	929.234	19			

*预测变量: Q, P, O, L, K, H, G, F, E, C, B, A.

由表7可以看出,模型的显著性概率Sig.=0.000<0.05,结果表明,模型的因变量Y(-0.074 mm含量)用自变量(A、B、C、E、F、G、H、K、L、O、P和Q)建立的数学模型高度显著,可以应用上述自变量来建立数学模型。

表8 正交试验结果的回归系数
Table 8 Coefficients of screening tests of orthogonal

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差			
(常量)	49.228	1.239		39.718	0.000
A	-2.696	0.688	-0.198	-3.921	0.006
B	2.740	0.688	0.201	3.985	0.005
C	2.756	0.688	0.202	4.009	0.005
E	1.844	0.688	0.135	2.682	0.031
F	-3.608	0.688	-0.265	-5.248	0.001
G	1.972	0.688	0.145	2.868	0.024
H	9.408	0.688	0.690	13.684	0.000

K	3.352	0.688	0.246	4.875	0.002
L	-1.916	0.688	-0.141	-2.787	0.027
O	-4.336	0.688	-0.318	-6.307	0.000
P	-3.076	0.688	-0.226	-4.474	0.003
Q	2.860	0.688	0.210	4.160	0.004

由表 8 可以看出, 显著性概率小于 0.05 的助磨剂为对试验结果影响较大的助磨剂, 显著性概率数值越小, 对试验结果的影响越大, 所有助磨剂的显著性概率都小于 0.05, 回归分析结果可以由上述因素来建立数学模型, 建立的回归方程为:

$$Y=49.228-2.696A+2.740B+2.756C+1.844E-3.608F+1.972G+9.408H+3.352K-1.916L-4.336O-3.076P+2.860Q$$

分析上述回归方程可知, 试验因素前的系数为正值时表示随着药剂用量的增加, 磨矿产品 -0.074 mm 含量增加, 药剂起到助磨作用, 并且数值越大, 助磨效果越好; 试验因素前的系数为负值时表示随着药剂用量的增加, 磨矿产品 -0.074 mm 含量减少, 药剂起到阻磨作用, 并且数值越大, 阻磨作用越大, 磨矿效果越差。

对 -0.074 mm 含量增加起显著影响的助磨剂有: 六偏磷酸钠 (B)、焦磷酸钠 (C)、氟硅酸钠 (E)、CMC (G)、NM-3 (H)、油酸钠 (K)、醋酸铵 (Q)。助磨效果: NM-3 (H) > 油酸钠 (K) > 醋酸铵 (Q) > 焦磷酸钠 (C) > 六偏磷酸钠 (B) > CMC (G) > 氟硅酸钠 (E)。起到阻磨效果的

药剂为: 水玻璃 (A) 碳酸钠 (F) 聚丙烯酸钠 (L) 十二烷基磺酸钠 (O)、十二烷基硫酸钠 (P)。阻磨作用: 十二烷基磺酸钠 (O) > 碳酸钠 (F) > 十二烷基硫酸钠 (P) > 水玻璃 (A) > 聚丙烯酸钠 (L)。

3 结 语

(1) 对试验结果起显著影响的助磨剂有: 六偏磷酸钠 (B)、焦磷酸钠 (C)、氟硅酸钠 (E)、CMC (G)、NM-3 (H)、油酸钠 (K)、醋酸铵 (Q)。

(2) 助磨效果: NM-3 (H) > 油酸钠 (K) > 醋酸铵 (Q) > 焦磷酸钠 (C) > 六偏磷酸钠 (B) > CMC (G) > 氟硅酸钠 (E)。

(3) 起到阻磨效果的药剂为: 水玻璃 (A) 碳酸钠 (F) 聚丙烯酸钠 (L) 十二烷基磺酸钠 (O)、十二烷基硫酸钠 (P)。

参考文献:

- [1]Kunio U. The effect of surfactant on ultrafine grinding done simultaneously with surface treatment of magnetite particles[J]. Journal of the Society of Powder Technology, Japan, 1990, 27(3): 165-169.
- [2]Gao M, Forssberg E. The influence of slurry rheology on ultrafine grinding in a stirred ball mill[J]. International Journal of Mineral Processing, 1993, 37(2): 237-244.
- [3] 刘文卿. 实验设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 李国峰, 王泽红徐昌, 等. 助磨剂提高鲕状赤铁矿磨矿效率试验研究 [J]. 中国矿业, 2014, 23(3): 110-113.

Experimental Research on Screening Test of Grinding Aids of Hematite Ore Based on Orthogonal Test

Xu Donglin¹, Wang Dong², Zhang Xu¹, Wu Qianfeng¹, Kang Xu¹, Hou Ying², Zhu Jujian², Zhao Tonglin²
(1. Anqian Mining Co., Ltd., Anshan Iron and Steel Group, Anshan, Liaoning, China; 2. School of Mining Engineering, University of Science and Technology LiaoNing, Anshan, Liaoning, China.)

Abstract: In the grinding process adding grinding aids can improve grinding efficiency, this paper applied orthogonal design method of screening test of grinding aids screening test of Anqian hematite ore, and the results of the orthogonal design of the screening test were analyzed using SPSS19.0 software, to determine the impact of hematite ore grinding effect of grinding aids. The results show that the grinding agent of hematite ore from the grinding effect are: six partial sodium phosphate, sodium pyrophosphate, sodium fluoride and sodium carboxymethyl cellulose (CMC), NM-3, sodium oleate, ammonium acetate; grinding effect from good to bad respectively: NM-3, sodium oleate, ammonium acetate, sodium six pyrophosphate, sodium hexametaphosphate, CMC, sodium fluorosilicate; drug resistance has the function of grinding: water glass, sodium carbonate, sodium polyacrylate, twelve sodium dodecyl sulfate, twelve sodium dodecyl sulfate resistance; grinding effect from good to bad were: Twelve sodium dodecyl sulfate, sodium carbonate, sodium dodecyl sulfate twelve, water glass, sodium polyacrylate.

Keywords: Hematite; Grinding aids; Orthogonal test; Grinding; SPSS19.0