基于正交设计的新疆某铁闪锌矿浮选实验研究

万丽，孙志健，王立刚，于洋

（北京矿冶科技集团有限公司，矿物加工科学与技术国家重点实验室，北京 102628）

摘要：本文对新疆某铁闪锌矿进行浮选实验研究，其中粗选药剂用量采用正交设计进行实验，根据正交实验结果分析不同药剂用量对粗选精矿指标的影响，确定粗选较佳药剂制度为：1000 g/t 石灰，500 g/t 硫酸铜，60 g/t 丁黄药，48 g/t 2# 油。基于较优药剂用量粗选实验获得了 Zn 品位 36.28%，Zn 回收率 96.67% 的锌粗精矿。根据正交实验结果同时还分析了不同药剂对浮选指标的影响程度，确定了硫酸铜和 2# 油对粗精矿指标的影响较大，石灰和丁黄药的作用较小，这对调整闭路实验中的药剂用量具有较强的指导意义，最终闭路实验获得了含 Zn 45.23% 的锌精矿，Zn 回收率为 95.96%。

关键词：铁闪锌矿；正交分析；浮选实验；药剂制度

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.03.011

中图分类号：TD952　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000-6532 (2021) 03-0071-05

随着易选闪锌矿锌资源的逐渐减少，以铁闪锌矿为主的复杂难选锌资源的开发及利用已显得尤为重要。我国的铁闪锌矿资源十分丰富，主要分布在云南、广西、湖南、贵州、青海、黑龙江等地。铁闪锌矿一般是指含铁大于 8% 的闪锌矿，由于铁闪锌矿的可浮性与磁黄铁矿、黄铁矿非常接近，磁性也与磁黄铁矿十分接近。通常铁闪锌矿又与磁黄铁矿共生在同一矿体中，使得分选难度大大增加，大量选矿工作者对此进行了研究 [1-3]。

新疆某铁闪锌矿中的锌矿物为铁闪锌矿，其他金属矿物有磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等。非金属矿物主要为绿泥石，其次为方解石，少量的石英、金云母，微量的磷灰石、钠长石、绿帘石、直闪石、高岭石、石墨等。

本文主要是针对该铁闪锌矿进行浮选实验研究，其中粗选药剂用量采用正交设计进行实验。正交实验设计是一种解决多因子对比实验问题的数学方法，该方法在许多研究领域都有应用 [4-7]。该方法主要使用正交表进行整体设计、综合设计、统计分析。具体地讲，也就是利用正交表从所有可能搭配中挑选出若干必要的实验，然后再用统计分析（极差分析和方差分析）方法对实验结果进行综合处理，选出较优因素和较佳水平。

本文通过对粗选正交实验结果进行分析得出较佳粗选药剂制度以及不同药剂对浮选指标的影响规律，这对调整闭路实验中的药剂用量具有较强的指导意义。

1 矿石性质

原矿样的化学成分分析结果见表 1。

表 1 某铁闪锌矿的化学成分分析结果 /%

Table 1 Multi-elements analysis results of the marmatite ore

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	As	TFe	S	Cu	K_2O	Na_2O	P	Zn	Pb	Au*	Ag*	mFe
40.72	7.63	18.04	3.77	<0.005	7.85	5.33	0.055	1.44	0.97	0.077	3.98	0.28	<0.1	13.90	0.48

* 单位为 g/t。

收稿日期：2019-12-12；**改回日期：**2020-01-06

基金项目：北京矿冶科技集团青年科技创新基金（QCJ201818）

作者简介：万丽（1987-），女，硕士，工程师，主要从事选矿工艺研究。

万方数据

矿石中锌矿物为铁闪锌矿（含铁量主要在12%~18%），其他金属矿物有磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等。铁闪锌矿与磁黄铁矿的关系较为密切，二者常紧密共生。非金属矿物主要为绿泥石，其次为方解石，少量的石英、金云母，微量的磷灰石、钠长石、绿帘石、直闪石、高岭石、石墨等。

2　选矿实验研究

2.1　磨矿细度实验

本实验考察磨矿细度对粗精矿浮选指标的影响。粗选药剂制度为：石灰 4000 g/t（pH=12.8）；硫酸铜 300 g/t；丁黄药 60 g/t；2# 油 32 g/t，搅拌时间分别为：2 min；3 min；3 min；2 min，浮选时间为 5 min，磨矿细度分别为 -0.074 mm 46%、70%、80%、90%。实验流程见图 1，实验结果见图 2。

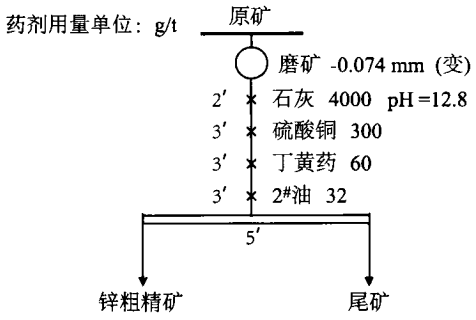


图 1　磨矿细度实验工艺流程

Fig. 1　Flowsheet of grinding fineness test

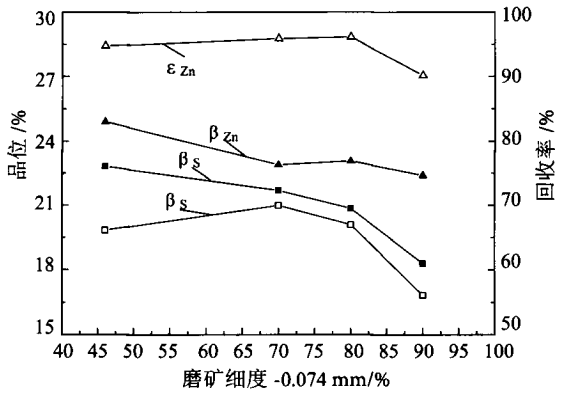


图 2　磨矿细度实验结果

Fig. 2　Results of grinding fineness test

根据实验结果，考虑到铁闪锌矿与磁黄铁矿共生密切，确定磨矿细度为 80% -0.074 mm。

2.2　粗选条件正交实验

在磨矿细度为 80% -0.074 mm 的条件下进行浮锌粗选正交实验，并根据实验结果分析各因素对实验指标的影响，按其影响大小找出主次关系，并确定较佳搭配方案或较优工艺条件。确定四个因素分别为：石灰用量 A；硫酸铜用量 B；丁黄药用量 C；2# 油用量 D，各因素所选取的水平见表 2。

表 2　粗选正交实验设计的因素和水平

Table 2　Factors and levels of roughing flotation determined by orthogonal design

水平 / 因素	A 石灰用量 /(g · t^{-1})	B 硫酸铜用量 /(g · t^{-1})	C 丁黄药用量 /(g · t^{-1})	D2# 油用量 /(g · t^{-1})
1	0	50	30	24
2	1000	150	60	32
3	2500	300	90	48
4	4500	450	120	64

此实验是四因素四水平实验，因此选用 L16 正交表来进行实验和分析，依照正交表，16 次实验的方案是：第一号实验的工艺条件是 0 g/t 石灰，50 g/t 硫酸铜，30 g/t 丁黄药，24 g/t 2# 油；第二号实验的工艺条件是 0 g/t 石灰，150 g/t 硫酸铜，60 g/t 丁黄药，32 g/t 2# 油；第三号实验的工艺条件是 0 g/t 石灰，300 g/t 硫酸铜，90 g/t 丁黄药，48 g/t 2# 油；第四号实验的工艺条件是 0 g/t 石灰，450 g/t 硫酸铜，120 g/t 丁黄药，64 g/t 2# 油；依此类推，第十六号实验的工艺条件是 4500 g/t 石灰，450 g/t 硫酸铜，30 g/t 丁黄药，48 g/t 2# 油。

按照实验方案表中写明的各次实验条件进行实验，取样化验得粗精矿 Zn 品位，计算可知粗精矿 Zn 回收率，见表 3。对实验指标进行分析，直观分析结果见表 4。

万方数据

表 3　浮锌粗选正交实验 Zn 指标

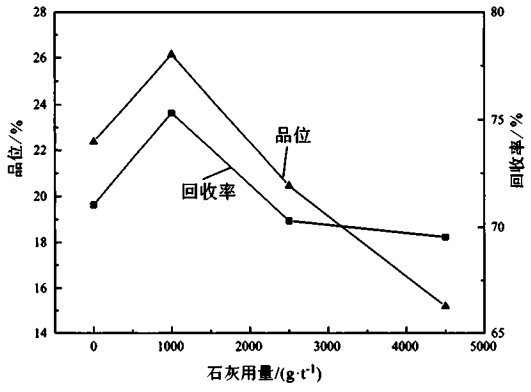
Table 3 Roughing concentrate index of orthogonal tests of zinc flotation

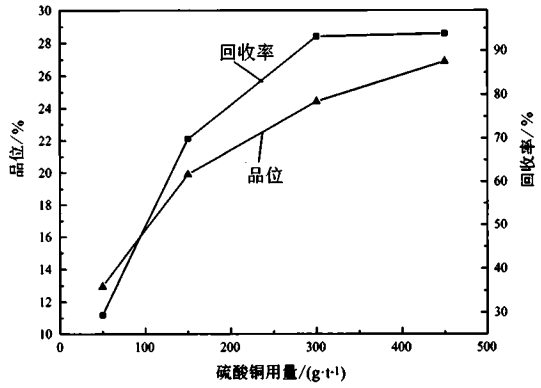
实验序号	1(A)	2(B)	3(C)	4(D)	粗精矿 Zn 品位 /%	粗精矿 Zn 回收率 /%
1	1	1	1	1	23.02	17.50
2	1	2	2	2	28.09	74.67
3	1	3	3	3	20.98	95.46
4	1	4	4	4	17.43	96.48
5	2	1	2	3	12.67	39.60
6	2	2	1	4	20.09	78.68
7	2	3	4	1	35.08	90.28
8	2	4	3	2	36.73	92.74
9	3	1	3	4	7.97	33.05
10	3	2	4	3	15.39	71.09
11	3	3	1	2	24.61	89.24
12	3	4	2	1	33.93	87.80
13	4	1	4	2	8.17	27.54
14	4	2	3	1	16.02	54.88
15	4	3	2	4	17.08	97.48
16	4	4	1	3	19.53	98.23

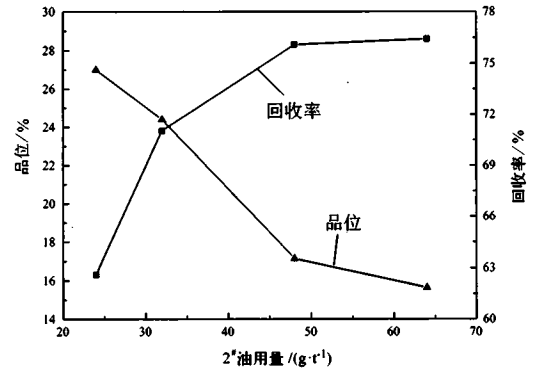
表 4　浮锌粗选正交实验直观分析结果

Table 4　Range analysis results of orthogonal tests of zinc flotaion

	直观分析	A 石灰用量 /(g · t^{-1})	B 硫酸铜用量 /(g · t^{-1})	C 丁黄药用量 /(g · t^{-1})	D2# 油用量 /(g · t^{-1})
粗精矿 Zn 品位 /%	均值 1	22.38	12.96	21.81	27.01
	均值 2	26.14	19.90	22.94	24.40
	均值 3	20.48	24.44	20.43	17.14
	均值 4	15.20	26.91	19.02	15.64
	极差	10.94	13.95	3.93	11.37
	优水平	A2	B4	C2	D1
	主次关系	B>D>A>C			
粗精矿 Zn 回收率 /%	均值 1	71.03	29.42	70.91	62.62
	均值 2	75.33	69.83	74.89	71.05
	均值 3	70.30	93.12	69.03	76.10
	均值 4	69.53	93.81	71.35	76.42
	极差	5.79	64.39	5.86	13.81
	优水平	A2	B4	C2	D4
	主次关系	B>D>C>A			







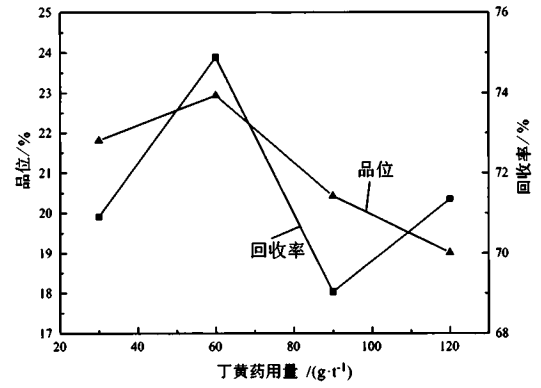


图 3　浮锌粗选正交实验 Zn 指标曲线

Table 3 Roughing concentrate index of orthogonal tests of zinc flotation

通过直观分析结果可知，对粗精矿 Zn 品位及回收率影响较大的药剂为硫酸铜，其次是 2# 油。具体药剂对 Zn 指标的影响规律见图 3。

根据直观分析结果及 Zn 指标曲线，确定实验粗选较佳工艺条件为: 1000 g/t 石灰，500 g/t 硫酸铜，60 g/t 丁黄药，48 g/t 2# 油。

在较佳粗选药剂用量下，粗选实验工艺流程见图 4，实验结果见表 5。

万方数据

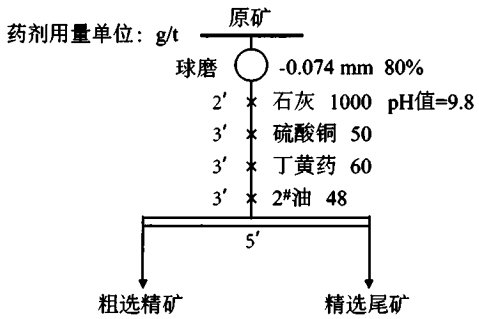


图 4　锌浮选粗选实验工艺流程

Fig. 4　Flowsheet of zinc roughing flotation test

表 5　锌浮选粗选实验结果

Table 5　Results of zinc roughing flotation test

产品名称	产率 /%	品位 /%		回收率 /%	
		Zn	S	Zn	S
粗选精矿	10.73	36.28	28.45	96.67	57.18
粗选尾矿	89.28	0.15	2.56	3.33	42.82
原矿	100.00	4.02	5.34	100.00	100.00

在正交实验所确定的较佳药剂用量下，粗选可获得 Zn36.28%，回收率 96.67% 的锌粗精矿。

2.4　浮选闭路实验

浮选闭路实验工艺流程见图5，实验结果见表6。

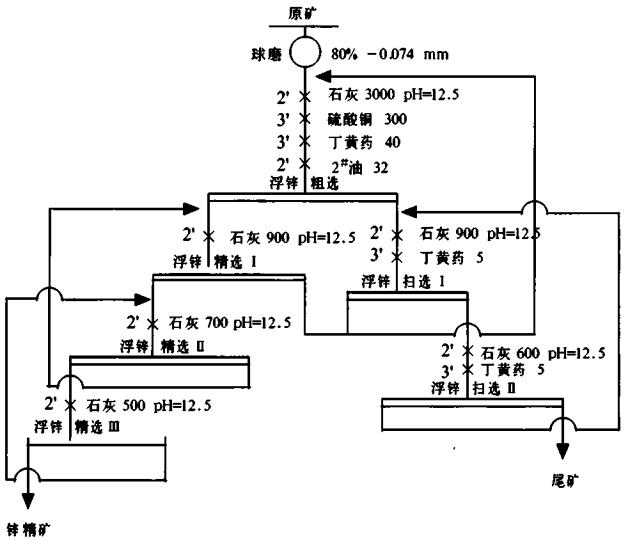


图 5　锌浮选闭路实验工艺流程

Fig. 5　Flowsheet of closed -circuit flotation test

表 6　锌浮选闭路实验结果

Table 6　Results of closed -circuit flotation test

产品名称	产率 %	品位 /%		回收率 /%	
		Zn	S	Zn	S
锌精矿	8.64	45.23	31.43	95.96	50.79
尾矿	91.36	0.18	2.88	4.04	49.21
原矿	100.00	4.07	5.35	100.00	100.00

3　结　语

（1）正交实验设计方法在选矿领域一般的浮选条件实验中是可用的。通过运用该方法在实验中间可以不必等待分析结果，所有实验可以同一批做完、同一批分析结果，这样就可以缩短实验周期，节省时间。

（2）在对新疆某铁闪锌矿进行浮选实验研究中采用正交设计方法对粗选药剂用量进行实验，一次性完成 16 次实验并送样分析，通过极差分析及考察指标与因素之间的关系图，确定粗选较佳药剂制度为：1000 g/t 石灰，500 g/t 硫酸铜，60 g/t 丁黄药，48 g/t 2# 油。基于较优药剂用量粗选实验获得了 Zn 品位 36.28%，Zn 回收率 96.67% 的锌粗精矿。

（3）通过对正交实验数据进行极差分析还能确定各因素对浮选指标的影响程度，从而把握实验中的主要环节。根据极差分析确定了硫酸铜和 2 号油对粗精矿指标的影响较大，石灰和丁黄药的作用较小，这对调整闭路实验中的药剂用量具有较强的指导意义，最终闭路实验获得了含 Zn 45.23% 的锌精矿，Zn 回收率为 95.96%。

参考文献：

[1] 刘万峰，董干国，孙志健．河北某铁锌矿石选矿试验研究 [J]．有色金属（选矿部分），2009 (6)：31-34.

LIU W F, DONG G G, SUN Z J. Experimental study on beneficiation of an iron-zinc ore in Hebei Province [J]. Nonferrous Metals: (Mineral Processing Section), 2009 (6) : 31-34.

[2] 牛芳银，马晶，王重阳，等．某含细粒磁黄铁矿铁锌矿石选矿工艺研究 [J]. 金属矿山 ,2012 (8)56-60.

NIU F Y, MA J, WANG C Y, et al. Study on beneficiation process of a fine pyrrhotite iron-zinc ore [J]. Metal Mine, 2012 (8)56-60.

[3] 王重阳，牛芳银，周丽萍，等．某含复杂铁锌矿综合回收研究 [J]. 金属矿山 ,2017 (3):28-31.

WANG C Y, NIU F Y, ZHOU L P, et al.Study on comprehensive recovery of a complex iron-zinc ore [J]. Metal Mine, 2017 (3): 28-31.

万方数据

[4] 汤璐，宣爱国，薛永萍．云母钛珠光颜料光泽影响因子的探讨 [J]. 矿产综合利用 ,2016 (6): 92-95.
TANG L, XUAN A G, XUE Y P. Discussion on influence factors of luster of mica titanium pearlescent pigment [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2016 (6): 92-95.
[5] 程治华．正交实验法在矿石预选实验中的应用 [J]. 矿业研究与开发 ,2004 (6).
CHENG Z H. Application of orthogonal test method in ore preconcentration test [J]. Mining Research and Development, 2004, (6).
[6] 李立涛，杨志强，高谦．基于正交试验和神经网络的新型充填胶凝材料配比优化 [J]. 矿产综合利用 ,2018 (3):114-120.
LI L T, YANG Z Q, GAO Q. Proportional optimization of new filling cementing material based on orthogonal experiment and neural Network [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018 (3):114-120.
[7] 沈锐，赵壮志，李磊，等．火龙果皮中果胶的提取工艺优化及理化性质分析 [J]. 食品研究与开发 ,2018,39 (12): 71-77.
SHEN R, ZHAO Z Z, LI L, et al. Optimization of extraction process and analysis of physical and chemical properties of pectin from Huolong pericarp [J]. Food Research and Development, 2018, 39 (12) :71-77.

Experimental Research on Flotation of a Marmatite Ore from Xinjiang

Wan Li, Sun Zhijian, Wang Ligang, Yu Yang
(BGRIMM Technology Group, National key Laboratory of Science and Technology of Mineral Processing, Beijing,China)

Abstract: In this paper, the flotation test of certain marmatite was carried on, in which the reagent dosage using in roughing was tested by orthogonal design. According to the orthogonal test results, the influence of different dosages of reagents on the roughing concentrate index was analyzed. The optimal reagent regime was determined as follows: 1000 g/t lime, 500 g/t copper sulfate, 60 g/t butyl xanthate, 48 g/t 2# oil. Based on the optimal reagent dosage, the roughing concentrate containing 36.28% Zn with recovery of 96.67% was obtained. Furthermore, based on the orthogonal test results, the influence of different reagents on roughing flotation index size was analyzed as well. The influence of copper sulfate and 2# oil on the rough concentrate index was determined to be greater than that of lime and butyl xanthate. On this basis, closed-circuit test was carried out and a zinc concentrate containing 45.23% Zn with recovery of 95.96% was obtained.

Keywords: Marmatite; Orthogonal analysis; Flotation test; Reagent regime

欢迎投稿　欢迎订阅　欢迎刊登广告

万方数据