

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2014.05.016

# 湖南某脱碳石煤的选矿试验研究

辜小川<sup>1,2</sup>, 孙 伟<sup>2</sup>, 刘润清<sup>2</sup>, 宋韶博<sup>2</sup>, 陈秀珍<sup>2</sup>

(1. 万宝矿产有限公司, 北京 100053; 2. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083)

**摘 要:**传统的石煤提钒工艺中钒回收率低、环境污染严重。在工艺矿物学研究的基础上,采用浮选对某脱碳石煤矿进行了条件试验和闭路试验,设计出了“优先脱碳—脱泥—浮选”联合提钒流程。结果表明,石煤中主要含钒矿物为钒云母,主要的脉石矿物为石英,通过闭路浮选试验得到了  $V_2O_5$  品位为 2.04%、回收率为 83.41% 的钒精矿,从而显著降低浸矿酸耗和生产成本。

**关键词:**石煤;提钒;浮选;酸耗

中图分类号:TD954;TD923

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2014)05-0067-05

## Study on Mineral Processing of a Decarburized Stone Coal in Hunan

GU Xiaochuan<sup>1,2</sup>, SUN Wei<sup>2</sup>, LIU Runqing<sup>2</sup>, SONG Shaobo<sup>2</sup>, CHEN Xiuzhen<sup>2</sup>

(1. Wanbao Mining Limited, Beijing 100053, China; 2. College of Resources Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The traditional process of vanadium-extraction from stone coal is confronted with serious problems of pollution and low recovery. Proper flotation flow sheet “priority decarburization-desliming-floatation” was proposed based on condition experiments and closed-circuit test for the decarburization stone coal on the basis of mineralogical analysis. The results showed that vanadium mica was the main mineral which contained vanadium, the major gangue minerals was quartz, through the closed-circuit flotation experiment, we obtained the grade 2.04% of vanadium pentoxide, the recovery was 83.41%. significantly, we reduced the acid consumption and the cost of production.

**Key words:** stone coal vanadium ore; vanadium extraction; flotation test; acid consumption

钒在元素周期表中属  $V_B$  族,具有众多优异的物理化学性能,有金属“维生素”的美称,广泛应用于钢铁工业、航天工业、化工和国防尖端技术行业。钒在自然界分布很广,但分布相当分散,无单独开采的富矿,主要与各种金属矿、碳硅质石煤矿、磷矿等共生<sup>[1-3]</sup>。石煤资源独特,世界上拥有石煤资源的国家较少,我国是其中之一。随着科技的不断发展,探矿技术日益革新,近年来,科技工作者又先后在新疆、河南等地发现了储量丰富的石煤资源,我国石煤总储量可能超过 1 000 亿 t<sup>[4]</sup>。从岩石学的角度,石煤是经过长期的地质变化,埋在古老地层中的一种煤炭资源,是作为钒的单独矿床开采的低品位含钒碳质页岩,是钒金属的重要来源<sup>[5-8]</sup>。

传统的石煤提钒工艺虽然生产流程稳定,成本较低,但回收率低、环境污染严重,已被国家禁止使用,研究新的环保型工艺是钒矿开发利用的首要任务<sup>[9-11]</sup>。目前,石煤综合利用的关键技术在于如何将钒高效率地从矿石中浸出。通过选矿方法实现石煤中  $V_2O_5$  的富集,大大减少冶炼处理量,是一种有效的途径<sup>[12]</sup>。

浮选方法能够脱除矿石中绝大部分尾矿,将大大减少冶炼处理量,具有广阔的应用前景。姚金江<sup>[13]</sup>等人针对某地石煤钒矿采取选冶联合提钒工艺,用浮选的方法将  $V_2O_5$  品位由 0.16% 提高到 1.28%,钒精矿回收率达到 74.62%。向平<sup>[14]</sup>等人对阿克苏石煤钒矿进行了浮选试验,通过“湿式分级—浮选”联合流程处理,原矿  $V_2O_5$  品位为 0.7%,

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB07B04)

收稿日期:2013-08-16

修回日期:2014-07-26

作者简介:辜小川(1987-),男,四川广元人,硕士。

获得精矿品位 3.2%、钒回收率达 74.5%，取得了较好的试验指标。针对湖南某低品位含钒石煤矿，本文作者在前人研究基础上，对石煤矿石先进行脱碳，再通过脱泥—浮选的条件试验和闭路试验，确定石煤提钒合理的浮选工艺流程和药剂制度。

## 1 原矿成分及元素赋存状态

### 1.1 原矿性质

试验用石煤取自湖南某地石煤矿，矿石的多元素分析结果见表 1。主要矿物成分见表 2。

表 1 原矿化学成分分析结果

Table 1 Main chemical composition of raw ore /%

成分	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	MgO	SO <sub>3</sub>	C	其它
含量	0.74	3.34	57.18	4.38	8.67	2.56	3.12	2.63	12.63	4.75

表 2 原矿主要矿物成分

Table 2 Main mineral composition of raw ore /%

成分	石英	煤	方解石	云母类矿物	长石	黄铁矿	高岭石	其它
含量	44	14	8	12	8	5	7	2

从表 1、表 2 可以看出，原矿中主要为硅质矿物，主要有用元素为钒，V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.74%，铜、钛、锌、镍等元素含量很少，不具备利用价值；主要耗酸矿物有铁矿物和方解石等，湿法提钒中若能减少这部分耗酸矿物的含量，将可有效降低酸耗；石煤中碳含量达到 12.63%，具有一定的热值，对该石煤进行焙烧脱碳既有利于磨矿和磨矿产品的湿法浸钒，同时也是钒富集的过程<sup>[12]</sup>。

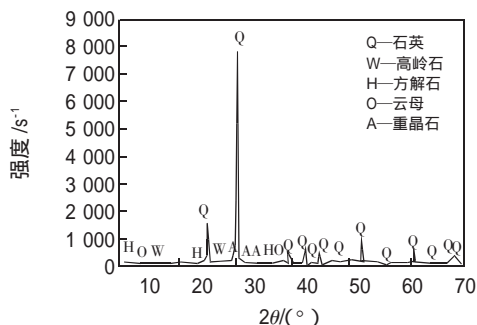


图 1 原矿的 XRD 图谱分析

Fig.1 X-ray diffraction pattern of raw ore

图 1 为该石煤矿原矿的 X 射线衍射图，可以看出，该矿石主要由非金属矿物组成，矿石的主要矿物为石英，其次为方解石、重晶石、白云石、长石、云母、蒙脱石和褐铁矿。为了进一步了解钒在该矿石中的分布状况，对该矿石进行了钒的物相分

析，从钒的物相分析结果可知，矿样中主要含钒矿物在云母类矿物、氧化铁及黏土矿物、石榴石这三相中。其中前两种矿物中的钒占了 98.51%。根据下文的粒度分析试验可以发现钒的嵌布粒度极细，主要赋存于云母中和以吸附状态存在于氧化铁及黏土矿物中。

### 1.2 脱碳后石煤主要化学成分分析

石煤脱碳处理通过回转窑高温焙烧实现，物料直接采用细碎产品，粒度为 0~3 mm，焙烧时间为 0.5 h，焙烧温度为 1 000 ℃。焙烧产品主要化学成分分析结果如表 3 所示<sup>[12]</sup>。从表 3 可知石煤经过焙烧脱碳处理后，V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的品位从 0.74% 提高到了 0.81%。

表 3 脱碳石煤主要化学成分分析结果

Table 3 Main chemical composition of raw ore /%

成分	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	MgO	SO <sub>3</sub>	C	其它
含量	0.81	3.83	63.82	4.92	9.77	2.85	3.47	1.43	2.36	6.74

### 1.3 脱碳矿石中钒的粒度分布特征

用孔径分别为 74、150、250 和 550 μm 的标准筛对脱碳矿石进行湿法筛分。V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 在各粒级的分布情况见表 4。由表 4 可知，该矿石在各个粒级范围内都有含钒矿物，且钒具有分布不均匀性，有 50% 以上分布在 -74 μm。

表 4 原矿粒度分布分析结果

Table 4 Analysis result of the size-distribution in raw ore /%

粒级/μm	产率	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
		品位	分布率
-74	26.69	1.63	55.78
+74-150	4.06	0.78	4.06
+150-250	8.05	0.55	5.68
+250-550	26.09	0.42	14.05
+550	37.13	0.38	18.09
合计	100.0	0.78	100.0

## 2 钒矿富集浮选条件试验

### 2.1 直接浮选试验

对脱碳矿磨矿 8 min，然后按照图 2 的流程进行选矿试验，结果见表 5。可以看出，直接浮选的效果不理想，精矿中 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的品位只有 1.28%，回收率 37.72%。微细粒的矿泥对该钒矿浮选影响比较大，会降低浮选药剂的选择性，恶化浮选，所以磨矿前要进行脱泥预处理。

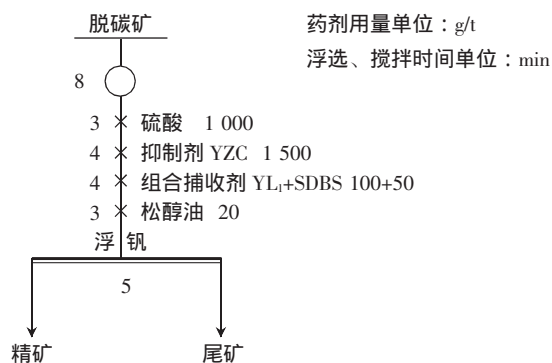


图2 直接浮选试验流程

Fig.2 The flowsheet of direct flotation test

表5 直接浮选试验结果

产品名称	产率	$V_2O_5$ 品位	回收率
精矿	24.75	1.28	37.72
尾矿	75.25	0.70	62.28
原矿	100.0	0.84	100.0

## 2.2 脱泥试验

通过对比，擦洗—沉降脱泥比直接筛分脱泥的效果好，可以提高矿泥中钒的品位和回收率<sup>[15]</sup>。擦洗—沉降脱泥分为两段，第一段脱泥条件：分散剂水玻璃为 2 000 g/t，擦洗浓度为 30%，搅拌速度为 500 r/min，擦洗 20 min，擦洗后加水至矿浆浓度为 25%，继续搅拌 5 min 后静置沉降 5 min；第二段脱泥条件：分散剂水玻璃为 1 000 g/t，加水至矿浆浓度为 25%，继续搅拌 5 min 后静置沉降 5 min，试验结果见表 6。

表6 脱泥试验结果

产品名称	产率	$V_2O_5$ 品位	回收率
矿泥	13.56	2.46	38.79
脱泥尾矿	86.44	0.61	61.21
原矿	100.0	0.86	100.0

通过擦洗—沉降脱泥试验，矿泥中  $V_2O_5$  品位为 2.46%，回收率为 38.39%，钒得到有效的富集，可见浮选前的脱泥是必要的。

## 2.3 浮选条件试验

### 2.3.1 磨矿细度条件试验

原矿脱泥后，浮选条件试验的流程按照直接浮选的流程，见图 2。磨矿细度试验结果见图 3，由图 3 可知，随着磨矿细度的增加，精矿中  $V_2O_5$  的回收率则呈逐渐上升的趋势，品位先升高后下降，并且在  $-74 \mu m$  占 83% 时达到极大值。钒有一定的富

集，故取磨矿细度为  $-74 \mu m$  占 83%。

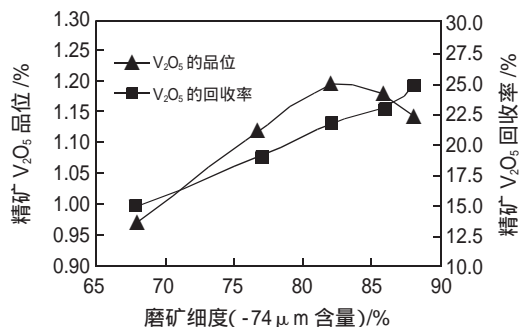


图3 磨矿细度条件试验结果

Fig.3 Condition test results of grinding fineness

### 2.3.2 抑制剂用量试验

钒矿富集浮选的抑制剂选用专门研制的石英高效抑制剂 YZC，抑制剂用量试验流程同图 2，试验结果见图 4。综合考虑品位和回收率，确定抑制剂的用量以 1.5 kg/t 为宜。

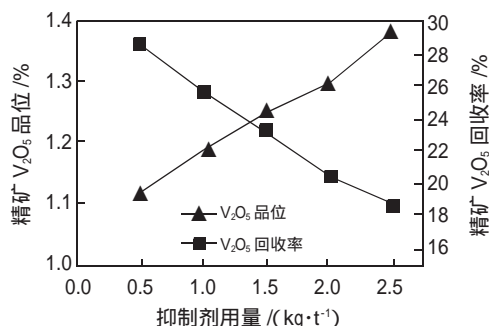


图4 抑制剂 YZC 用量试验结果

Fig.4 Test results of the depressant dosage YZC

### 2.3.3 硫酸用量试验

硫酸用量的条件试验仍采用图 2 的浮选流程进行，试验结果见图 5。随着硫酸用量的增加，浮选回收率和品位都有增加，但同时设备的腐蚀性也越来越大，综合考虑硫酸适宜用量为 2.0 kg/t。

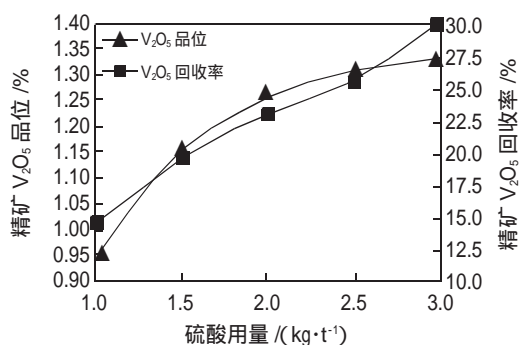


图5 硫酸用量试验结果

Fig.5 Test results of sulfuric acid dosage

### 2.3.4 阴阳离子混合捕收剂配比试验

在磨矿细度采用 $-74\ \mu\text{m}$ 占83%、YZC用量为1.5 kg/t、硫酸用量为2.0 kg/t的条件下,进行捕收剂配比试验研究,仍采用图2流程进行条件试验。选择阳离子捕收剂 $\text{YL}_1$ 和阴离子捕收剂SDBS(十二烷基苯磺酸钠)组合捕收剂作为钒矿物与脉石矿物的分离药剂,总用量为0.6 kg/t。由图6可知,当用量比为2:1时,浮选效果最佳。

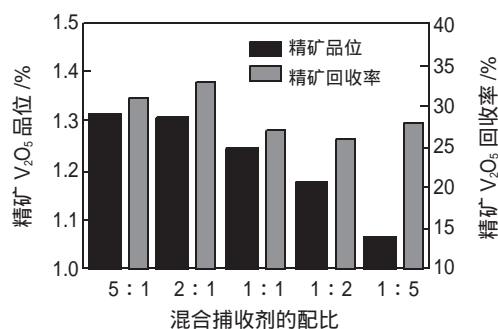


图6 混合捕收剂的配比试验结果

Fig.6 Test results of the matching of the mixed collectors

### 2.3.5 阴阳离子混合捕收剂用量试验

固定 $\text{YL}_1$ 与SDBS配比为2:1,其它条件不变,改变混合捕收剂的用量,试验结果如图7所示。

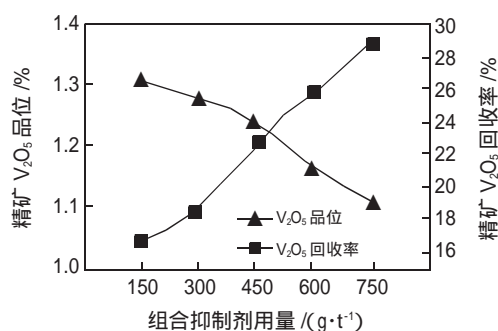


图7  $\text{YL}_1$ 与SDBS组合用量试验结果

Fig.7 Test results of the  $\text{YL}_1$  & SDBS dosage

由图7试验结果可以看出,随着组合捕收剂总药剂用量的加大,精矿中的 $\text{V}_2\text{O}_5$ 回收率均呈升高趋势,但品位逐渐降低。因此,总药剂用量为450 (300+150) g/t时,效果最佳。

## 3 闭路浮选流程及指标

针对以上对碳质石煤钒矿进行的浮选条件试验,设计出合理的浮选流程,通过闭路试验(图8所示),可以获得理想的浮选指标。表7为石煤钒矿闭路浮选指标,综合精矿1和精矿2,可以得到

$\text{V}_2\text{O}_5$ 的品位达2.04%的精矿,回收率达到80%以上,尾矿中 $\text{V}_2\text{O}_5$ 的品位可降到0.22%,大大降低了冶金提钒中每吨钒所需原料。

表7

闭路试验指标

产品名称	产率	$\text{V}_2\text{O}_5$ 品位	回收率
矿泥	13.66	2.46	39.07
精矿1	14.34	2.12	35.36
精矿2	7.13	1.08	8.98
尾矿	64.87	0.22	16.59
脱碳尾矿	100.0	0.86	100.0

## 4 结论

低品位高碳石煤钒矿的高效富集是选矿难题,到目前为止国内外还没有处理该类型钒矿成熟选矿工艺及大规模工业开发利用的先例。本文作者以“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB07B04)“开发难处理高硅质石煤钒矿”为依托背景,针对湖南某高碳含钒石煤研究,取得了较好的试验结果并得到如下结论:

1) 工艺矿物学研究表明:该石煤矿含碳量较高,为12.63%,原矿中硅含量很高,达到57.18%; $\text{V}_2\text{O}_5$ 的品位为0.74%,钒在石煤中分布不均匀,主要赋存在 $-74\ \mu\text{m}$ 的粒级中。

2) 经过“脱碳—脱泥—浮选”联合闭路流程,得到的混合钒精矿中 $\text{V}_2\text{O}_5$ 品位为2.04%、回收率为83.41%。

3) 该工艺流程抛除了64.87%的脉石矿物,降低了后续冶金提钒生产成本。

## 参考文献

- [1] 李小健. 某炭硅质钒矿提钒工艺的选取[J]. 稀有金属与硬质合金, 2011(4): 1-3.
- [2] 刘万里, 王学文, 王明玉, 等. 石煤提钒低温硫酸化焙烧矿物分解工艺[J]. 中国有色金属学报, 2009, 19(5): 943-948.
- [3] 屈启龙, 谢建宏, 王冠甫. 高碳钒矿综合回收石墨试验研究[J]. 矿业快报, 2007, 23(4): 35-37.
- [4] 孙伟, 辜小川, 刘润清, 等. 某炭质石煤钒矿中钒的赋存状态及其浮选研究[J]. 矿冶工程, 2013, 33(6): 28-31, 35.
- [5] 潘勇, 于吉顺, 吴红丹. 石煤提钒的工业评价[J]. 矿业快报, 2007, 23(4): 10-13.
- [6] 孙伟, 王丽, 曹学锋, 等. 石煤提钒的浮选工艺及吸附机理[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(7): 2069-2074.
- [7] 林海玲, 范必威. 石煤中影响钒转浸率的主要因素研究[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(3): 317-320.



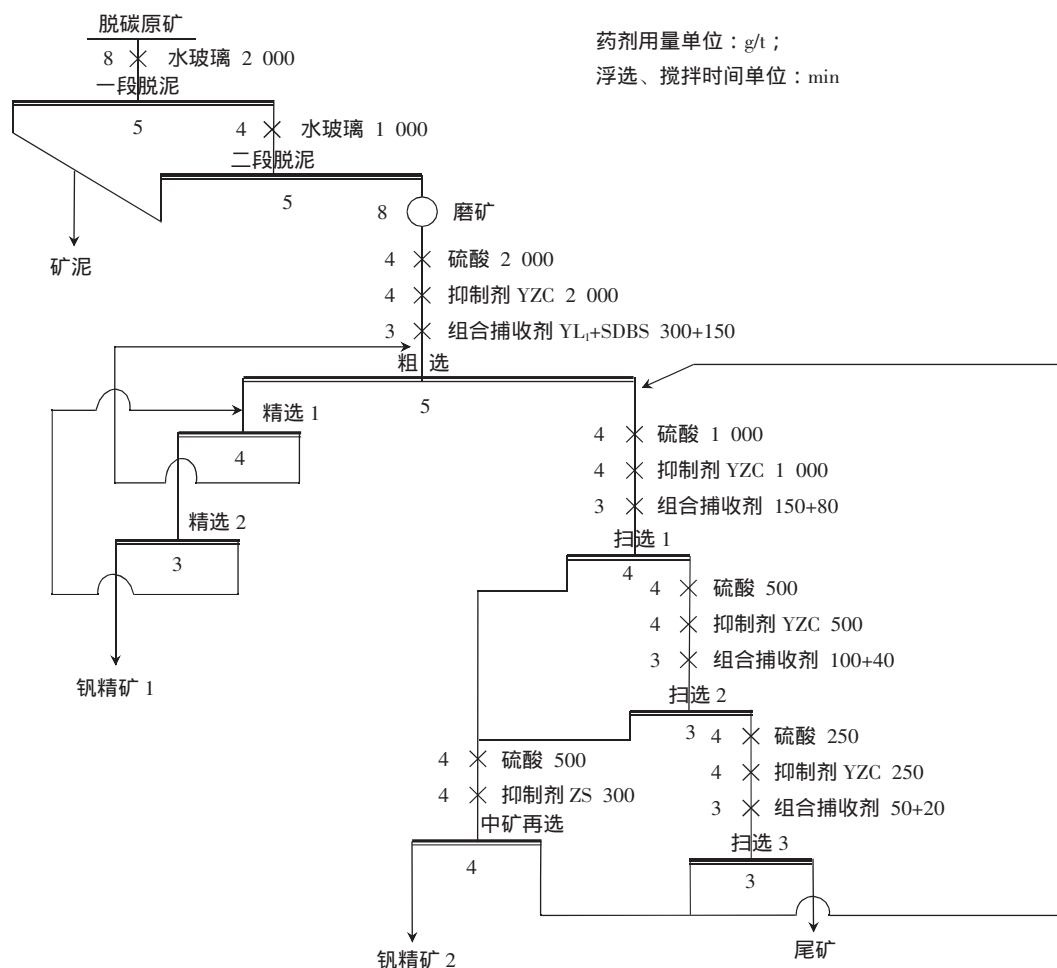


图 8 闭路试验流程

Fig.8 Flowsheet of closed-circuit test

- [8] Lan Y Z, Liu Jin. Review of vanadium processing in China[J]. Engineering Sciences 2005 3(3) 58-62.
- [9] 段 炼,田庆华,郭学益. 我国钒资源的生产及应用研究进展[J]. 湖南有色金属 2006 22(6) :17-20.
- [10] 何东升,冯其明,张国范,等. 含钒石煤的氧化焙烧机理[J]. 中国有色金属学报 2009 19(1) :195-200.
- [11] 钱 强. 石煤钒矿提取五氧化二钒的技术现状[J]. 中国资源综合利用 2008 26(3) :13-14.
- [12] 边 颖,张一敏,赵云良,等. 湖北某脱碳石煤摇床预抛尾试验[J]. 金属矿山 2013(1) 94-96 ,150.
- [13] 姚金江,吴海国,李 婕. 高钙低品位石煤提取五氧化二钒新工艺[J]. 湖南有色金属 2009 25(6) 21-23.
- [14] 向 平,冯其明,钮因健,等. 选矿富集阿克苏石煤钒矿中的钒[J]. 材料研究与应用 2010 4(1) 65-69.
- [15] 王中明. 某钾长石矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2000 19(1) :47-50 35.

## 沈阳北矿矿冶研究所

沈阳北矿矿冶研究所是专门从事选矿试验、选矿技术服务的矿业技术企业。主要客户为有色金属、贵金属、非金属等矿山企业。

主要产品有：起泡剂 520、550，氧化铜活化剂 611、612，螯合剂 630、697，铜金捕收剂 4000，铜钼捕收剂 8645，铜金银捕收剂 9200、9402 等。

现因工作需要急招选矿所所长 1 人，男性，55 周岁以下，年薪 10-50 万元（人民币），有意者电话垂询。

联系电话：13478882116 E-mail：124563968@qq.com