

## 提高德兴铜矿铜浮选回收率的新型捕收剂研究<sup>\*</sup>

詹信顺<sup>1</sup> 钟 宏<sup>2</sup> 刘广义<sup>2</sup>

(1. 江西铜业集团; 2. 中南大学)

**摘 要** 对德兴铜矿石进行了不同种类的新型捕收剂浮选试验,结果表明,改性硫脲类捕收剂是铜矿物的强力捕收剂,其对铜的回收好于单硫代磷酸酯捕收剂和硫氢酯类捕收剂。改性硫脲 TU-32 + 少量丁黄药的组合捕收剂的工业试验结果表明,与丁黄药工艺相比, TU-32 + 少量丁黄药组合可显著降低二段铜硫分离石灰用量,并提高铜精矿中铜回收率 1.05%, 金回收率 7.16%, 钼回收率 3.90%。改性硫脲类捕收剂对铜矿物具有强捕收能力,对硫化铁矿物具有好的选择性,现已工业应用于德兴铜矿泗洲选矿厂。

**关键词** 德兴铜矿 TU-32 捕收剂 浮选回收率

### Investigation on New collectors for Improving the Copper Flotation Recovery of Dexing Copper Mine

Zhan Xinshun<sup>1</sup> Zhong Hong<sup>2</sup> Liu Guangyi<sup>2</sup>

(1. Jiangxi Copper Group; 2. Central South University)

**Abstract** Flotation tests on different new collectors for Dexing copper ore were carried out. The results show that modified thiourea collectors are strong collectors for copper minerals and their recovery of copper is better than that by monothiophosphates and thionocarbamates. The result of the industrial test with a collector combination of modified thiourea TU-32 and small amount of butyl xanthate (BX) indicates that compared with BX system, this collector system can remarkably reduce the lime consumption in two-stage copper-sulfur separation and improve the quality of copper concentrate by additional recoveries of Cu 1.05%, Au 7.16% and Mo 3.90%. As modified thiourea collectors have powerful collection ability for copper minerals and good selectivity for iron sulfides, they have been used in the production of Sizhou Concentrator in Dexing Copper Mine.

**Keywords** Dexing copper mine, TU-32 collector, Flotation recovery

德兴铜矿泗洲选矿厂采用传统的黄药铜硫混浮再磨再选工艺,所用捕收剂丁黄药是铜硫浮选的强捕收剂,但丁黄药缺乏选择性,铜硫分选需要很高的碱性介质(现场矿浆 pH 值 > 13)。这不仅消耗大量石灰,增加生产成本,而且在抑制硫铁矿的同时,也抑制少量硫化铜矿的上浮,尤其重要的是高碱介质十分不利于硫化铜矿石中部分次生硫化铜矿物、氧化铜矿物、金矿物、伴生金以及辉钼矿的浮选,造成铜硫分离时铜、金、钼的损失<sup>[1-2]</sup>。为综合回收德兴铜矿石中铜、金、钼等金属元素,降低二段铜硫浮选分离的石灰用量,研究从新型高效硫化铜矿捕收剂出发,在泗洲选矿厂开展浮选试验研究以提高德兴铜矿石中铜、金、钼的综合回收率。

### 1 矿样性质及试验方法

#### 1.1 矿样性质

德兴铜矿属特大型斑岩铜矿<sup>[3]</sup>,矿石类型以细

脉浸染型硫化矿为主。矿石中铜矿物主要为黄铜矿,其次为辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、黝铜矿、砷黝铜矿等,少量孔雀石、斑铜矿等。主要金属硫化物为黄铁矿,其次为极少量的磁黄铁矿。钼的独立矿物为辉钼矿,金主要以自然金存在,其次为银金矿。脉石矿物主要有石英、绢云母、绿泥石、水白云母、伊利石、黑云母等。

#### 1.2 试验方法

试验矿样为泗洲选矿厂现场溢流样,其磨矿细度为 -0.074 mm 65%,矿浆浓度为 30%。试验粗选用 31XFD-63 型单槽浮选机,分选用 11XFD-63 型单槽浮选机,精选用 0.51XFD-63 型单槽浮选机。闭路流程试验两次粗选浮选泡沫合并精选,以

<sup>\*</sup> 国家“十一五”支撑计划项目(编号:2007BAB22B01)。

詹信顺(1960—),男,江西铜业集团,高级工程师,335424 江西省贵溪市。

保证精选的浓度,其流程为现场生产流程,见图 1。

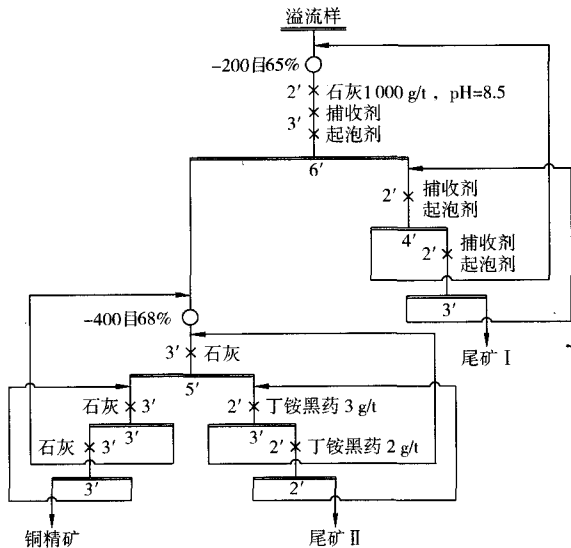


图 1 德兴铜矿泗洲选矿厂混浮工艺闭路试验流程

试验所用浮选捕收剂除丁黄药、丁胺黑药等常规药剂外,所采用的新型捕收剂见表 1,它们均为工业品位。试验所用起泡剂为 111#,其为石油副产物。工业试验矿石主要来自铜厂北山西源岭矿区,在泗洲选矿厂一期进行,以日处理量 8 000 t 的磨一工段为试验系统,日处理量 10 000 t 的磨二工段为对比系统。

表 1 新型捕收剂代号及其主要组成

捕收剂 代号	Z-200	MPS	MPC	MAP	TU-32	TU-34	TU-82
主要组成	硫氨酯	烯丙基 硫氨酯	改性 硫氨酯	单硫代 磷酸酯	改性 硫脲	改性 硫脲	改性 硫脲

2 试验结果与讨论

2.1 不同种类捕收剂浮选试验

不同种类新型捕收剂浮选溢流样的试验流程见图 2,试验条件及其结果见表 2。试验结果表明,改性硫脲类捕收剂 TU-32 和 TU-34 对铜的捕收能力要强于单硫代磷酸酯捕收剂 MAP 和硫氨酯类捕收剂 Z-200、MPS 和 MPC。

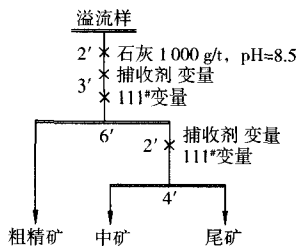


图 2 新型捕收剂浮选溢流样的开路试验流程

2.2 TU 系列捕收剂浮选试验

表 2 的结果表明,改性硫脲捕收剂是德兴铜矿石中铜的强力捕收剂。为此,进行了 TU 系列捕收剂浮选试验研究,试验流程如图 2,试验条件及其结果见表 3。结果表明,随取代基碳链增长,TU 系列捕收剂对铜的捕收能力先呈增强而后下降。4 个碳的 TU-34 的捕收能力要强于 2 个碳的 TU-32,但 8 个碳的 TU-82 的捕收能力却明显下降,可能是由于其溶解度明显降低的缘故。并且 TU-34 或 TU-32 与少量丁黄药的组合,能取得比单一捕收剂丁黄药更好的铜回收率。由于 TU-34 的原料成本比 TU-32 要贵近 8 000 元/t,综合考虑药剂的性价比,选择 TU-32 进行进一步试验研究。

表 2 新型捕收剂浮选试验条件及其结果

药剂条件 /(g/t)	产 品	产 率 /%	品 位/%		回收率/%	
			Cu	S	Cu	S
TU-32 20, 丁黄 20 扫一:丁黄 10,111# 5	粗选: 粗精矿	8.83	4.30	19.02	89.05	86.85
	中 矿	1.53	0.71	8.98	2.53	7.12
	尾 矿	89.64	0.04	0.13	8.41	6.03
	原 矿	100.00	0.43	1.93	100.00	100.00
TU-34 20, 丁黄 20 扫一:丁黄 10,111# 5	粗选: 粗精矿	8.42	4.56	20.42	89.63	89.94
	中 矿	1.51	0.79	6.66	2.79	5.25
	尾 矿	90.08	0.03	0.10	7.57	4.81
	原 矿	100.00	0.43	1.91	100.00	100.00
Z-200 20, 丁黄 20 扫一:丁黄 10,111# 5	粗选: 粗精矿	8.05	4.58	20.53	86.41	84.89
	中 矿	1.68	0.93	9.87	3.65	8.49
	尾 矿	90.27	0.04	0.14	9.94	6.63
	原 矿	100.00	0.43	1.95	100.00	100.00
粗选:MPS, 丁黄 20 扫一:丁黄 10,111# 5	粗选: 粗精矿	8.12	4.63	20.72	87.36	83.83
	中 矿	1.80	0.87	10.25	3.64	9.22
	尾 矿	90.07	0.04	0.16	9.00	6.96
	原 矿	100.00	0.43	2.01	100.00	100.00
MPC 20, 丁黄 20 扫一:丁黄 10,111# 5	粗选: 粗精矿	8.37	4.54	19.44	88.47	85.83
	中 矿	1.48	0.85	11.78	2.93	9.18
	尾 矿	90.15	0.04	0.11	8.60	4.99
	原 矿	100.00	0.43	1.89	100.00	100.00
粗选: MAP 20, 丁黄 20 扫一:丁黄 10,111# 5	粗选: 粗精矿	7.31	5.02	21.28	86.08	80.58
	中 矿	1.54	1.01	13.57	3.65	10.83
	尾 矿	91.15	0.05	0.18	10.27	8.60
	原 矿	100.00	0.43	1.93	100.00	100.00

2.3 TU-32 + 少量黄药一段闭路试验

在捕收剂条件试验的基础上,进行了 TU-32 捕收剂与丁黄药不同组合条件的一段浮选闭路试验对比。试验流程见图 3,结果见表 4。闭路对比试验结果表明,TU-32 与少量丁黄药配合,一段浮选铜回收率比黄药浮选要高 1.46%。值得注意的是,当粗选仅加 TU-32,而将黄药加到扫选作业时,粗精矿中硫的回收率可以显著降低,仅为 74.96%,表明 TU-32 捕收剂具有良好的选择性。

表 3 TU 系列捕收剂浮选试验条件及其结果

药剂条件 (g/t)	产 品	产 率 /%	品 位/%		回收率/%	
			Cu	S	Cu	S
粗选:丁黄 50,111#20 扫一:丁黄 20,111#10	粗精矿	5.55	6.56	19.3	87.57	88.16
	中 矿	1.30	1.11	7.27	3.47	7.78
	尾 矿	93.15	0.04	0.05	8.96	4.06
	原 矿	100.00	0.42	1.22	100.00	100.00
粗选: TU-32 20, 丁黄 10, 111#5 扫一:丁黄 10,111#5	粗精矿	6.35	5.83	19.23	88.30	88.88
	中 矿	1.72	0.82	4.02	3.36	5.03
	尾 矿	91.93	0.04	0.09	8.33	6.09
	原 矿	100.00	0.42	1.37	100.00	100.00
粗选: TU-34 20, 丁黄 10, 111#5 扫一:丁黄 10,111#5	粗精矿	6.40	5.95	18.98	90.62	91.18
	中 矿	1.47	0.68	4.49	2.37	4.95
	尾 矿	92.13	0.03	0.06	7.01	3.87
	原 矿	100.00	0.42	1.33	100.00	100.00
粗选: TU-82 20, 丁黄 10, 111#5 扫一:丁黄 10,111#5	粗精矿	3.80	8.61	24.81	79.24	71.95
	中 矿	1.25	2.30	18.16	6.96	17.32
	尾 矿	94.95	0.06	0.15	13.80	10.72
	原 矿	100.00	0.42	1.31	100.00	100.00

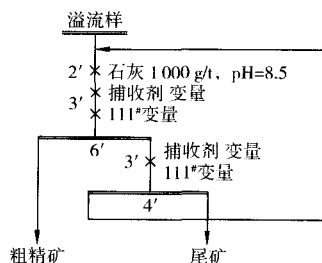


图 3 TU-32 捕收剂 + 少量丁黄药一段浮选闭路试验流程

## 2.4 TU-32 + 少量丁黄药全流程闭路试验

前面的浮选试验结果表明, TU-32 与丁黄药组合能取得比单一捕收剂丁黄药更好的一段铜回收率, 并且 TU-32 捕收剂的选择性好于丁黄药。为

表 4 TU-32 捕收剂与黄药组合的闭路浮选试验结果

药剂条件 (g/t)	产 品	产 率 /%	品 位/%		回收率/%	
			Cu	S	Cu	S
粗选: TU-32 20, 丁黄 10 扫一: 丁黄 10	粗精矿	8.74	4.84	18.7	93.36	89.20
	尾 矿	91.26	0.03	0.22	6.64	10.80
	原 矿	100.00	0.45	1.83	100.00	100.00
	原 矿	100.00	0.45	1.83	100.00	100.00
粗选: TU-32 20, 扫一: TU-32 4, 丁黄 20	粗精矿	7.48	5.36	18.97	92.72	74.96
	尾 矿	92.52	0.03	0.51	7.28	25.04
	原 矿	100.00	0.43	1.89	100.00	100.00
	原 矿	100.00	0.43	1.89	100.00	100.00
粗选: 丁黄 50, 111#20 扫一:丁黄 20,111#5	粗精矿	7.00	5.73	23.48	91.90	91.79
	尾 矿	93.00	0.04	0.16	8.10	8.21
	原 矿	100.00	0.44	1.79	100.00	100.00
	原 矿	100.00	0.44	1.79	100.00	100.00

此, 进行 TU-32 + 少量丁黄药组合捕收剂与单一丁黄药捕收剂的全流程闭路对比试验。试验矿样为生产综合样, 其含铜 0.42%, 含硫 1.72%, 含钼 0.01%, 含金 0.18 g/t, 含银 1.18 g/t, 具有代表性。试验流程见图 1, 试验条件见表 5, 试验结果见表 6。其表明, TU-32 + 少量丁黄药组合可显著降低二段铜硫分离石灰用量, 并获得铜精矿品位 24.22%, 铜回收率 88.06%, 金回收率 55.40%, 钼回收率 61.78%, 银回收率 60.97% 的浮选指标。与黄药工艺相比, 铜回收率提高 0.95%, 金回收率提高 4.31%, 钼回收率提高 2.82%。

表 5 全流程闭路试验药剂条件

工 艺	丁 黄 药	TU-32 + 少量丁黄药
粗选	丁黄药 50, 111#20	TU-32 20, 丁黄药 10, 111#5
一段 扫一	丁黄药 10, 111#5	丁黄药 10, 111#5
扫二	丁黄药 10, 111#5	丁黄药 10, 111#5
分选	石灰 600, CTP 20	石灰 400
二段 精选一	石灰 300, CTP 10	石灰 200
精选二	石灰 300	石灰 100

表 6 全流程闭路浮选试验结果

工艺名称	产物名称	产 率 /%	品 位/%					回 收 率/%				
			Cu	S	Mo	Au	Ag	Cu	S	Mo	Au	Ag
单一丁黄药	铜精矿	1.54	23.28	32.04	0.44	5.99	48.80	87.11	29.60	58.96	51.09	63.50
	尾矿 II	5.56	0.20	16.83	0.04	0.52	4.01	2.73	56.13	18.66	15.98	18.84
	尾矿 I	92.90	0.04	0.26	0.01	0.06	0.22	10.16	14.27	22.38	32.93	17.66
	原 矿	100.00	0.42	1.72	0.01	0.18	1.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
TU-32 + 少量 丁黄药	铜精矿	1.51	24.22	33.54	0.48	6.64	47.60	88.06	29.50	61.78	55.40	60.97
	尾矿 II	6.45	0.18	15.87	0.03	0.48	3.78	2.86	59.62	17.34	17.14	20.68
	尾矿 I	92.04	0.04	0.20	0.01	0.05	0.23	9.09	10.88	20.88	27.46	18.35
	原 矿	100.00	0.42	1.72	0.01	0.18	1.18	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

注: Au, Ag 单位为 g/t。

## 2.5 TU-32 + 少量黄药工业试验

基于上述试验结果, 在德兴铜矿泗洲选矿厂磨一系统开展了新型 TU-32 + 少量丁黄药的工业试

验, 试验流程见图 1, 试验药剂条件见表 5, 29 d 共 85 个班的工业试验指标统计见表 7。工业试验结果表明, 与磨二系统传统黄药工艺相比, TU-32 + 少

量丁黄药工艺显著降低二段铜硫分离石灰用量,可提高铜精矿的各种选矿指标,其中铜品位提高 0.93%,铜回收率提高 1.05%;金品位提高 1.29 g/

t,金回收率提高 7.16%;钼品位提高 0.03%,钼回收率提高 3.90%。工业试验后,TU-32+少量丁黄药工艺立即在德兴铜矿泗洲选矿厂推广应用。

表 7 TU-32+少量丁黄药工业试验统计结果

系 统	产物名称	处理量 /t	品 位/%				综合回收率/%			
			Cu	Au	Ag	Mo	Cu	Au	Ag	Mo
磨一 工段	铜精矿	3 372.3	23.16	12.10	52.48	0.16	75.64	65.18	62.16	37.05
	原 矿	233 272	0.44	0.27	1.22	0.01	100.00	100.00	100.00	100.00
磨二 工段	铜精矿	4 369.6	22.23	10.81	49.11	0.13	74.59	58.02	63.33	33.15
	原 矿	294 081	0.44	0.28	1.15	0.01	100.00	100.00	100.00	100.00

注:磨一工段处理矿石的平均氧化率为 12.32%,磨二工段处理矿石的平均氧化率为 11.94%;Au、Ag 单位为 g/t。

### 3 结 论

(1)不同种类的新型捕收剂浮选德兴铜矿石结果表明,改性硫脲类捕收剂是铜矿物的强力捕收剂,其对铜的回收好于单硫代磷酸酯捕收剂和硫氨酯类捕收剂。随着取代基碳链增长,硫脲系列捕收剂对铜的捕收能力先呈增强而后下降。4 个碳的 TU-34 的捕收能力要强于 2 个碳的 TU-32,但 8 个碳的 TU-82 的捕收能力却明显下降。

(2)工业试验结果表明,与传统黄药工艺相比,TU-32+少量丁黄药工艺显著降低二段铜硫分离石灰用量,可提高铜精矿的各种选矿指标,其中铜品位提高 0.93%,铜回收率提高 1.03%;金品位提高 1.29 g/t,金回收率提高 7.16%;钼品位提高

0.03%,钼回收率提高 3.90%。改性硫脲类捕收剂对铜矿物具有强捕收能力,对硫化铁矿物具有好的选择性。

### 参 考 文 献

- [1] 刘广义. 硫化铜矿石的综合利用及新型捕收剂研究[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [2] Liu G Y, Zhong H, Dai T G. Investigating the selectivity of ethoxycarbonyl thionocarbamates during the flotation of copper sulfides[J]. Minerals and Metallurgical Processing, 2008, 25(1): 19-24.
- [3] 戴犹芳. 德兴铜矿北山伴生金银赋存状态及富集特征的研究[J]. 铜业工程,1996(2):7-12.

(收稿日期 2008-11-01)

(上接第 69 页)

一部分靠近中心区域的密度相对较高的重颗粒返回涡轮离心加速区进行重新加速分层,因而有利于重颗粒的分离。但与此同时,也会有部分密度较高的颗粒直接由溢流管排出,从而影响涡轮旋流分选机的分选精度。

(2)从涡轮旋流分选机的锥部向筒体内,沿溢流管外壁有一个反向的流速,促使进入到锥部而靠近溢流管外壁的流体向后返回。对于分选含矸高的煤泥,由于在分选机锥部堆积的主要是密度较高的重颗粒,由于这种返回流的存在,会使一部分密度较高的颗粒向前返回后由进入溢流管入口附近的紊流区,这样就会有部分高密度颗粒由溢流管排出,影响分选精度;对于分选含矸低的煤泥,由于矸石量较小,因而进入到分选锥部的高密度物料中,对于其中夹带的粒度较大的低密度颗粒,会随这种返回流返回到溢流管入口处的中心区域,因而对低密度物料的分选有利。

### 3 结 论

通过对涡轮旋流分选机的不同转速条件下流场的数值模拟研究,可以方便、快捷地对分选机的内部速度场进行预测,找出适合于不同细粒煤分选的转速条件,同时也有助于对涡轮旋流分选机结构优化设计,为设备的研究开发奠定了理论基础,具有一定的指导意义。

### 参 考 文 献

- [1] 王怀法,吕子虎,杨润全. 新型涡轮离心分选机初步研究[C]//2005 年全国选煤学术会议论文集. 太原:太原理工大学,2005,8:39-41.
- [2] 杨润全. 涡轮旋流分选机结构优化与流场数值模拟研究[D]. 太原:太原理工大学,2006.
- [3] 王福军. 计算流体动力学分析:CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 徐继润,罗茜. 水力旋流器流场理论[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [5] 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2004.

(收稿日期 2008-10-11)