

## Falcon 离心机分选某细粒尾矿中锡石的试验研究及实践

邵成祥<sup>1</sup>, 肖 骏<sup>2</sup>, 陈代雄<sup>2</sup>, 董艳红<sup>2</sup>

(1. 卡特彼勒(中国)投资有限公司, 北京 010100;

2. 湖南有色金属研究院 复杂铜铅锌共生金属资源综合利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410100)

**摘要:**云南某大型锡矿山重选厂存在着细粒尾矿中锡石流失严重的问题。细粒尾矿行筛析和矿物组成分析表明,该矿中细粒尾矿中的锡石矿物属于难以回收的组分。对比研究了儿种常见的高效细粒锡石重选设备对该部位尾矿中锡石的回收效果,采用 Falcon 离心机对该部分锡石回收效果最优,并通过参数调节,确定了 Falcon 离心机处理该细粒尾矿的最优条件。工业应用结果表明:大型 Falcon 离心机可有效回收细粒尾矿中的锡石,为企业新增了经济效益。

**关键词:** Falcon 离心机;锡石重选;细粒尾矿;优化;经济效益

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.03.020

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2016)03-0083-05

锡石矿物相对于其他常见的脉石矿物(硅铝酸盐、碳酸盐脉石)具有比重差异性大的特点,重选法是锡石选矿应用较多也是技术较为成熟的方法<sup>[1]</sup>。随着常见的砂锡矿床、含锡氧化破碎带矿床、粗粒嵌布的矽卡岩型多金属硫化物—锡石矿床等易选的锡矿资源日益枯竭,“贫、细、杂”难选锡矿资源的开发利用日益引起矿业科技人员的重视,尤其是细粒锡石选矿技术开发的现实意义更为显著<sup>[2]</sup>。

对于细粒矿泥中锡石的再回收利用工作,国内外选矿科技人员研究的重点在于:1)细粒锡石浮选理论及工艺的研究。主要集中在新型微细粒锡石捕收剂如 FXL-14、磷酸类的开发及应用上<sup>[5]</sup>;2)更加高效、先进的重选设备的研究及应用。如复合立场离心机、Kelsey 离心跳汰机等,这些重选设备对入选物料的有效处理粒径降低至 $-0.020\text{ mm}$ ,为细粒锡石选矿提供了更多的途径<sup>[6-8]</sup>。本文针对云南某大型锡矿山重选厂细粒尾矿中锡流失严重的现状,分析了该尾矿中的矿石性质,对比了多种新型细粒锡石重选设备的处理效果,得出 Falcon 离心选矿机为该矿细粒锡石回收的较优设备。通过工业实践,证

明 Falcon 离心机可有效回收该矿山细粒尾矿中锡资源,并得到良好的选矿指标,为国内外同类型锡矿山资源综合回收提供了借鉴和指导。

### 1 含锡石细粒尾矿的来源及性质

#### 1.1 含锡石细粒尾矿的来源

该矿属于典型的矽卡岩型含锡多金属矿床,可综合回收的元素为 Cu、Pb、Zn、Sn 等,其原则生产工艺流程为:磁选除铁—硫化矿浮选脱硫—浮选尾矿分级重选,锡石重选部分为采用上升水流式分级箱将浮选尾矿分为不同粒径后再进入摇床中重选,其含锡细粒尾矿的来源见图 1。

由图 1 可看出,该矿锡重选部分的给矿为硫化矿浮选尾矿,经分级后分为粗砂、中粒、细泥 3 个组分,其中粗砂及中粒经摇床重选后,可得到锡重选精矿和达到可弃标准的尾矿(含 Sn $<0.1\%$ ),而分级细泥进入摇床后分选效果较差,尾矿含 Sn $0.28\%$ 左右。现场经流程查定,硫化矿浮选尾矿中含 Sn $0.5\%$ ,在图 1 所示的原则工艺流程下所得到的选矿指标为锡精矿含 Sn $35\%$ ,锡回收率 $55\%$ ,其中粗

收稿日期:2015-08-26;改回日期:2015-10-24

作者简介:邵成祥(1987-),男,学士,助理工程师,主要从事选矿,选矿破碎筛分研究工作。

通讯作者:肖骏(1987-),男,硕士,工程师,主要从事选矿试验研究工作。

砂重选尾矿、中粒重选尾矿含 Sn 0.08%，而细粒尾矿含 Sn 在 0.27% ~ 0.30%，总尾矿含 Sn 0.19%，总尾矿锡损失 45% 左右，其中损失在细粒尾矿中的锡金属占总尾矿的锡金属回收率 75% ~ 78%，表明锡金属在细粒尾矿中流失严重。

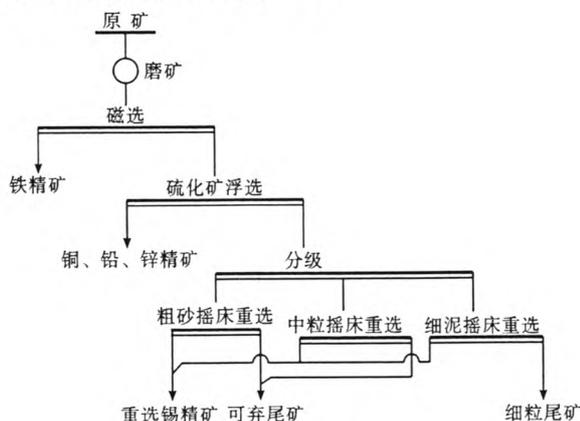


图 1 原则工艺流程

Fig. 1 Flowsheet of principle process

## 1.2 原料的性质

### 1.2.1 细粒尾矿的化学成分

细粒尾矿化学多元素分析结果见表 1。

表 1 原料多元素分析/%

Table 1 Results of multi-element analysis for fine-grained tailings

Sn	Cu	Zn	Fe	As	S	Pb
0.28	0.01	0.08	3.12	0.01	0.03	0.02
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Mn
67.49	14.76	2.07	1.79	1.34	0.49	4.19

### 1.2.2 原料的主要矿物组成

原料主要矿物组成及相对含量见表 2。

表 2 细粒尾矿中主要矿物组成及相对含量

Table 2 Distribution of main minerals for the fine-grained tailings

矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%
锡石	0.26	长石	17.11
方铅矿、白铅矿	0.01	云母、绿泥石	11.5
电气石	2.03	白云石	6.15
黄铜矿	0.01	方解石	6.96
毒砂	0.05	高岭石等粘土	6.35
赤铁矿、褐铁矿	4.92	石英	38.66
硬锰矿、软锰矿、菱锰矿	4.25	其他	0.96
		合计	100.00

### 1.2.3 细粒尾矿的粒度分布特征

对细粒尾矿进行了全筛水析，筛析结果见表 3。

### 1.2.4 影响原料中锡石选矿的工艺矿物学因素

由表 2 可看出，该细粒尾矿中主要可回收的目的矿物为锡石，脉石矿物主要为石英，但细泥中含有大量的电气石、绿泥石、粘土质等易产生大量泥质、易产生干扰锡石可选性的脉石矿物，由文献可知<sup>[4]</sup>，该细泥尾矿可基本定义为不可浮细泥。同时，由筛析结果可知，该细粒尾矿中的锡石主要集中在 -0.037 mm，低于常规的重选设备物料处理粒度的下限，如想有效回收该细粒尾矿中的锡石矿物，需要采用更加高效的重选设备。

表 3 细粒尾矿筛析结果

Table 3 Results of sieve analysis test for the fine-grained tailings

粒度/mm	产率/%	品位/%	分布率/%	累计分布率/%
+0.074	2.539	0.019	0.172	0.172
-0.074+0.052	5.957	0.065	1.379	1.551
-0.052+0.037	13.804	0.112	5.507	7.058
-0.037+0.026	16.918	0.216	13.017	20.075
-0.026+0.019	37.920	0.321	43.359	63.434
-0.019	22.863	0.449	36.566	100.000
给矿	100.000	0.281	100.000	/

## 2 Falcon 离心机的基本构造及工作原理

### 2.1 基本构造及工作原理

试验用 Falcon 离心机为加拿大 Falcon Ct 公司所产的 Falcon SD4 型试验机，其设备结构见图 2。

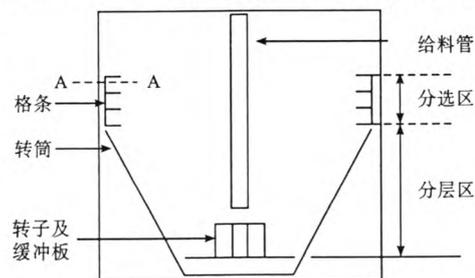


图 2 Falcon 离心机基本结构

Fig. 2 Basic construction plan of Falcon centrifugal separator

由图 2 可看出，Falcon 离心机的主要部分为给料管及转筒构成，同时槽底钻有小孔，便于反向冲洗水松散重选产物床层<sup>[8]</sup>。工作时，物料从中心给料管从上往下给入，同时转筒进行高速旋转产生大于

300G 的离心力(G 为重力倍数),在离心力的作用下,轻重物料在分层区部分沉降并分层,在离心力和反向冲洗水的作用下,比重高的快速沉降至转筒内壁,并沿着转筒内壁向上移动进入至图 2 所示的分选区中<sup>[9]</sup>,在格条的格阻下形成重选精矿,而轻物料及微细矿泥所受到的离心力较小,难以克服反向冲洗水的分离而被旋出转筒,形成尾矿<sup>[10]</sup>。

### 3 试验及结果讨论

#### 3.1 不同重选设备分选锡石矿泥对比试验

随着重选选矿理论、流体力学、流膜动力学、机械力学的发展,新型重力分选设备对细粒、微细粒物料的分选能力得到了较大的提升。对微细粒锡石的选矿,当前应用较为成功的新型细泥处理设备包括 SLon 射流离心机、悬振锥面选矿机、肯尼森离心机、矿泥摇床等<sup>[11]</sup>。试验对比了几种大处理量的细泥重选处理设备处理效果及指标,结果见表 4。

表 4 不同重选设备处理细粒尾矿对比试验结果

Table 4 Results of contrast test process of different gravity dressing equipments to fine-grained tailings

主选设备	产品名称	产率 /%	Sn 品位 /%	Sn 作业回收率 /%	富集比 /%
矿泥摇床	摇床精矿	0.78	11.98	32.88	42.32
	摇床中矿	36.30	0.25	31.55	
	摇床尾矿	64.00	0.16	35.57	
	原矿	100.00	0.28	100.00	
悬振锥面选矿机	悬振精矿	1.22	7.98	34.15	28.00
	尾矿	98.78	0.19	65.85	
	原矿	100.00	0.29	100.00	
Falcon 离心机	离心精矿	59.65	0.43	91.37	1.53
	离心尾矿	40.35	0.06	8.63	
	原矿	100.00	0.28	100.00	
Slon 射流离心机	离心精矿	66.97	0.39	91.87	1.37
	离心尾矿	33.03	0.07	8.13	
	原矿	100.00	0.28	100.00	

由表 4 可看出,不同重选设备的重选原理不同,对该细粒尾矿的重选效果不同。采用矿泥摇床和悬振锥面选矿机均可得到一个较高品位的锡精矿产品,但其重选尾矿偏高,无法实现有效抛尾,同时两个设备处理的作业回收率均较低;使用 Falcon 离心机和 Slon 射流离心机所得到的离心精矿品位的富集比较低,但可以分选得到一个较低品位的可弃尾矿,同时使用 Falcon 离心机所得的尾矿产率更大,

通过离心甩出的尾矿均为微细粒细泥,这对后续重选作业中消除微细矿泥对重选全流程的稳定性有积极的作用。对比表 4 的结果,最终确定了 Falcon 离心机为处理该细粒尾矿的主选设备。

#### 3.2 Falcon 离心机分选条件试验

##### 3.2.1 扩大重力 G 倍数条件试验

扩大重力 G 倍数直接影响到了物料轻、重矿物所受离心力的大小,同时通过调整扩大重力倍数可调节 Falcon 离心机对该细粒尾矿中含锡矿物的预富集效果。扩大重力 G 倍数条件试验固定离心给料速度为 2.0 L/min、排矿压力为 1.35 kPa。扩大重力 G 倍数条件试验结果见图 3。

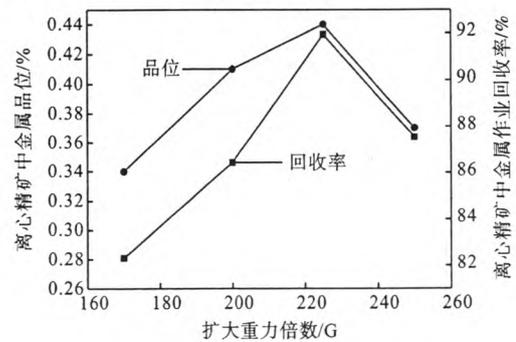


图 3 扩大重力 G 倍数条件试验结果

Fig. 3 Results of multiple of expanding concentration

由图 3 可知,随着重力 G 倍数的增大,离心精矿中 Sn 品位及回收率均呈现出先升高再降低的趋势,当扩大重力倍数达到 220 G 时,离心精矿中 Sn 品位和回收率达到了峰值,所以, Falcon 离心机处理该含锡细粒尾矿适宜的扩大重力为 220 G。

##### 3.2.2 给料速度条件试验

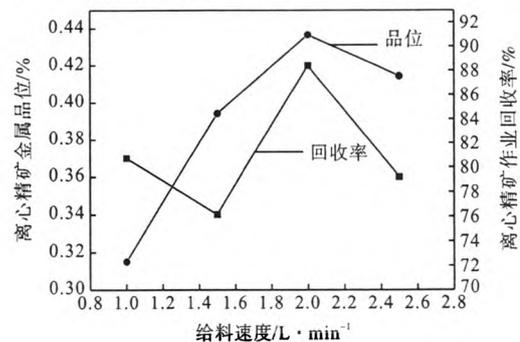


图 4 给料速度条件试验结果

Fig. 4 Results of feeding speed

给料速度对 Falcon 离心机处理该细粒尾矿效

果的影响主要在于转筒内矿浆紊流的稳定性上,给料速度决定了单位时间内该离心机的处理能力。给料速度条件试验固定扩大重力倍数为 220 G、排矿压力为 1.35 kPa。给料速度条件试验结果见图 4。

由图 4 可看出,给料速度对 Falcon 离心机处理该细粒尾矿效果的波动性较大,没有明显的规律性,当给料速度为 2 L/min 时,离心精矿中 Sn 品位及作业回收率最大,所以选择适宜的给料速度为 2 L/min。

### 3.2.3 排矿压力条件试验

排矿压力实际就是底流反向冲洗水压,在 Falcon 离心机运行时,如排矿压力过大,可造成部分分层在格条中的离心精矿溢出格条,随着尾矿排出,致使尾矿跑高<sup>[12]</sup>。排矿压力调节试验固定扩大重力倍数为 220 G、给料速度为 2 L/min。排矿压力条件试验结果见图 5。

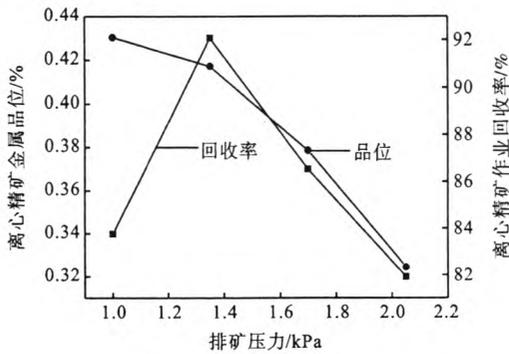


图 5 排矿压力条件试验结果

Fig. 5 Results of discharge pressure

由图 5 可看出,随着排矿压力的增大,离心精矿 Sn 金属回收率呈下降趋势,离心精矿 Sn 金属品位先急剧上升再平稳下降,表明在反向冲洗水压大于 1.35 kPa 时,精矿床层有部分精矿颗粒随着流态水溢流出内锥,所以适宜的反向冲洗水压为 1.35 kPa。

### 3.3 工业试验及经济效益分析

在前期试验结果的基础上,结合现场处理现状进行了工业试验。根据流程改造的设计要求,工业试验采用一台 FalconC2000 离心机和一台 Falcon1000 离心机作为工业试验主选设备,其中 FalconC2000 处理量为 4.5 t/h, FalconC1000 处理量为 1.5 t/h,可基本满足现有的处理量要求。工业试验方案流程见图 6,工业试验指标见表 5。

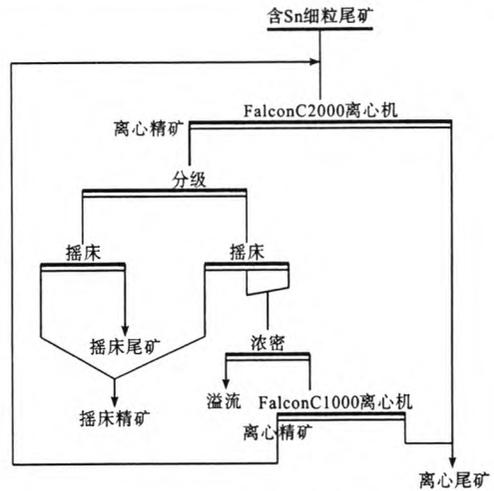


图 6 工业试验流程

Fig. 6 Flowsheet of industrial test

表 5 工业试验结果

Fig 5 Results of industrial tests/%

产品名称	产率/%	品位/%	回收率/%
摇床精矿	0.65	21.22	52.60
摇床尾矿	49.24	0.16	30.14
溢流	0.00	0.00	0.00
离心尾矿	50.11	0.09	17.25
给矿	100.00	0.26	100.00

由表 5 可看出,采用该流程处理该矿山重选厂所产出的含 Sn 细粒尾矿,在给矿含 Sn0.26% 的条件下,可得到一个含 Sn21.22%,Sn 作业回收率达到了 52.60% 的锡精矿,锡精矿对原矿回收率为 23.40%,同时摇床尾矿和离心尾矿合计含 Sn0.126%。原矿山矿石处理量为 1000 t/d,新增的细粒尾矿处理流程每天可处理 150 t 左右的细粒尾矿,每天新增 0.975 t Sn 品位 20% 的锡精矿,当前含 Sn20% 的锡精矿价格为 2.291 万元/t,该锡矿山技术改造后,以年生产天数为 330 d 计,可为该矿山新增 737 万元的产值,经济效益显著。

## 4 结 论

(1) 该矿山中细粒尾矿中 Sn 损失占到总 Sn 金属损失的 70% 以上,该细粒尾矿属于难处理的含锡矿泥,有 92% 左右的锡石分布于 -0.037 mm,采用常规的重选设备很难将其中的锡矿物进行有效回收。

(2) 对比研究了儿种常规的含锡石矿泥重选设备对该细粒尾矿的分选效果,确定使用 Falcon 离心机为分选该锡石细粒尾矿的较优设备;通过对扩大

重力 G 倍数、給料速度及排矿压力等参数的调节, 得出了使用 Falcon 离心机分选该细粒尾矿的较优参数为: 扩大重力倍数为 220 G, 离心給料速度为 2.0 L/min、排矿压力为 1.35 kPa。

(3) 在 Falcon 小型试验机所得指标的基础上进行了工业试验, 结果表明, 采用 Falcon 离心机作为处理该细粒尾矿的主选设备可有效地降低总尾矿中 Sn 含量。通过不同重选设备及辅助设备的组合, 工业试验可得到含 Sn 21.22%, Sn 回收率 23.4% 的锡精矿, 为企业年新增产值 737 万元。

### 参考文献:

- [1] 吕中海. 锡矿石选矿工艺研究现状与进展[J]. 现代矿业, 2009, 26(10): 19-22.
- [2] 肖骏, 陈代雄, 杨建文, 等. 某铜硫砷锡多金属矿选矿工艺研究[J]. 矿山机械, 2014, 42(8): 110-118.
- [3] 王晓, 童雄, 周永诚. 锡石工艺矿物学与选矿工艺[J]. 矿冶, 2011, 20(4): 15-19.
- [4] S. I. Polkin. 细粒锡石浮选理论和实践—第十届国际选矿会议文献[C]. 1996. 1-8.
- [5] 吕晋芳, 童雄, 周永诚. 微细粒锡石浮选药剂研究概况[J]. 湿法冶金, 2010, 29(2): 71-74.
- [6] 杨波, 肖日鹏, 刘杰. 悬振锥面选矿机回收细粒锡石试验研究[J]. 矿冶, 2014, 23(2): 72-76.
- [7] 陈仕乾. 离心选矿机在细粒嵌布锡石选矿中的应用[J]. 有色冶金设计及研究, 1989, 10(2): 19-26.
- [8] 刘祚时, 胡川, 段骏. Falcon 离心选矿机的分选特征和应用现状的研究[J]. 矿山机械, 2015, 43(2): 81-86.
- [9] 温雪峰, 潘彦军, 何亚群. Falcon 选矿机的分选机理及其应用[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(3): 341-346.
- [10] 简胜, 付丹, 梁溢强. 高效离心机 FALCON 在云南某多金属矿尾矿中锡回收的应用[J]. 云南冶金, 2011, 40(4): 25-28.
- [11] 蒋荫麟, 谢明跃. 云锡锡选矿工艺及装备的提升与改造[J]. 云南冶金, 2012, 41(5): 38-41.
- [12] 刘谦. 介质粒度对 Falcon 离心分选效果的影响[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(3): 20-23.

## Experimental Research on Cassiterite Dressing from a Fine Tailings Using Falcon Centrifugal Separator and Industrial Practice

Shao chengxiang<sup>1</sup>, Xiao Jun<sup>2</sup>, Chen Daixiong<sup>2</sup>, Dong Yanhong<sup>2</sup>

(1. Caterpillar(China) Investment Co., Ltd., Beijing, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory for Complex Copper Lead Zinc Associated Metal Resources Comprehensive Utilization, Hunan Research Institute for Non-ferrous Metals, Changsha, Hunan, China)

**Abstract:** The large loss of tin in fine tailings in a large tin mining is a serious problem. By sieve analysis tests and mineral composition analysis of the fine tailings, the results showed that the cassiterite minerals in fine tailings are difficult to recycle. Compared with the recycled indexes of different gravity separation equipments, Falcon centrifugal separator is the most effective facility for the fine tailings. Through a series of parameter adjustments, the research determined the optimum conditions for Falcon Centrifugal separator sorting the fine tailings. Industry application shows that large Falcon centrifuge can recover cassiterite from fine tailings effectively, which adds economic benefit for the enterprise.

**Keywords:** Falcon centrifugal separator; Cassiterite gravity concentration; Fine tailings; Optimization; Economic benefit