



悬振锥面选矿机在江西铁山垅钨尾矿中回收细粒级钨的应用

温小毛¹，王金敏¹，田敏²

(1. 江西铁山垅钨业有限公司，江西 赣州 342307；
(2. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所，河南 郑州 450006)

摘要：目前，铁山垅钨业选矿厂传统工艺处理后的钨细泥尾矿中一直含有 0.24% 左右的钨，公司为了尽可能回收细泥中的钨资源，提高企业效益，积极开展了钨细泥尾矿中回收钨资源的试验研究。研究表明，悬振锥面选矿机是回收该钨细泥尾矿中的细粒级钨的较佳设备；在给矿浓度 20%，粗选锥面振动频率 14Hz、转动频率 14Hz；精选锥面振动频率 16Hz、转动频率 14Hz 的条件下经过“一粗一精”的闭路工艺流程可获得含 WO₃ 25.12%，回收率 68.09% 的钨精矿；在试验研究的基础上进行了工业化生产应用，连续一个月试生产，流程稳定，可产出含 WO₃ 24%，回收率 67% 的钨精矿产品；根据生产实践，截止 2019 年底累积产出 50.54 标吨的钨细泥产品，为公司创造了更大经济效益。

关键词：粉煤灰；物相组成；氧化铝；盐酸法；硫酸法；硫酸铵法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.024

中图分类号：TD952; X773 文献标志码：A 文章编号：1000-6532 (2020) 05-0153-05

前 言

江西钨矿集团是有着百年历史的国有大型矿山企业，也是中国最大的以钨为主业，集多金属勘查、开采、冶炼、加工、贸易、装备制造于一体的矿业集团，其下属企业铁山垅钨业黄沙矿区有 80 多年开采历史，近年来由于矿石性质及采掘方式的变化，出窿矿样中的 -0.038 mm 级别含量增多，产率约为 6 %。采用多段浓缩沉淀、细泥摇床及离心机组成联合重选流程，回收矿样中 -0.038 mm 级别中的钨，但重选流程尾矿中仍含有 0.24% 的 WO₃ 没有得到有效回收^[1]。随着矿山资源日益衰竭，开展悬振锥面选矿机对细泥尾矿重选工艺研究及生产应用。

悬振锥面选矿机对钨、锡、赤铁矿等矿物

在 -0.034+0.019 mm 粒级具有良好的回收效果^[2-3]。目前国内很多学者^[4-7]研究过采用悬振锥面选矿机回收钨细泥中的钨，且部分钨锡矿山和铁矿山都引进悬振锥面选矿机处理钨锡泥和细粒级尾矿，选别效果较好^[8]。2016 年，铁山垅钨业选矿厂成功实施悬振锥面选矿机回收中矿沉淀池溢流水中较细粒级钨资源。

1 原矿性质

由表 1 可知，原矿中钨具有回收价值。粒度组成见表 2。

表 1 原矿多元素分析 /%

Table 1 Multi-element analysis results of the raw ore					
WO ₃	Mo	Bi	Sn	Cu	Pb
0.24	0.009	0.045	0.014	0.015	0.035
Zn	S	Fe	SiO ₂	CaO	MgO
0.022	0.44	10.56	56.56	28.62	3.44

收稿日期：2020-04-08

基金项目：地质调查项目“江西于都地区钨等矿产绿色利用调查评价”（DD20190625）资助

作者简介：温小毛（1967-），男，选矿中级工程师，选矿厂行政厂长。

通讯作者：王金敏（1988-），男，硕士，选矿助理工程师，选矿厂生产副厂长。

矿物研究表明，含钨矿物为黑钨矿，金属氧化矿主要为磁铁矿及少量锡矿，非金属矿物主要为石英、黑云母、绿泥石等。

表 2 原矿筛析结果

Table 2 Sieving analysis results of the raw ore

粒度 /mm	产率 /%		WO ₃		
	个别	累积	品位 %	WO ₃ 分布率 /% 个别 负累积	
+0.048	12.82	12.82	0.08	4.24	100.00
-0.048+0.038	12.30	25.12	0.30	15.27	95.76
-0.038+0.030	38.45	63.57	0.25	39.78	80.49
-0.030	36.43	100.00	0.27	40.71	40.71
合计	100.00	-	0.24	100.00	-

由表 2 可知，原矿中 95.76% 的 WO₃ 分布在 -0.048 mm 粒级，80.49% 分布在 -0.038 mm 粒级，钨矿的分布粒度极细。

2 试验研究

2.1 回收设备选择试验

针对目前回收细粒级钨的主要重选设备进行对比试验，设备型号：LX-78 离心机、云锡 6-S 刻槽摇床、DS4000 悬振锥面选矿机、L760/6000 毛毯流槽。试验条件：试验样品 4 份，每份 20 kg，分别用水配置成浓度为 25% 矿浆，搅拌均匀后进行一段粗选流程试验，试验结果见表 3。试验结果可知，钨精矿品位排序依次为刻槽摇床>毛毯流槽>悬振锥面选矿机>离心机；钨精矿回收率排序依次为悬振锥面>离心机>刻槽摇床>毛毯流槽。为了尽可能回收原矿中的钨资源，悬振锥面选矿机为较佳选矿设备。

表 3 设备选择试验结果

Table 3 Equipment selection test results

设备名称	产品名称	产率 /%	WO ₃ / %	回收率 / %
离心机	精矿	32.43	0.42	57.12
	尾矿	67.57	0.15	42.88
	合计	100.00	0.24	100
6-S 刻槽摇床	精矿	4.02	2.39	40.00
	尾矿	95.98	0.15	60.00
	合计	100.00	0.24	100
悬振锥面选矿机	精矿	14.68	1.17	71.56
	尾矿	85.32	0.08	28.44
	合计	100.00	0.24	100
毛毯流槽	精矿	2.02	2.30	20.16
	尾矿	97.98	0.19	79.84
	合计	100.00	0.23	100

2.2 矿浆浓度试验

试验条件：悬振锥面振动频率 12 Hz，转动频率 14 Hz，试验流程与设备选择试验流程相同，进行矿浆浓度试验，试验结果见图 1。

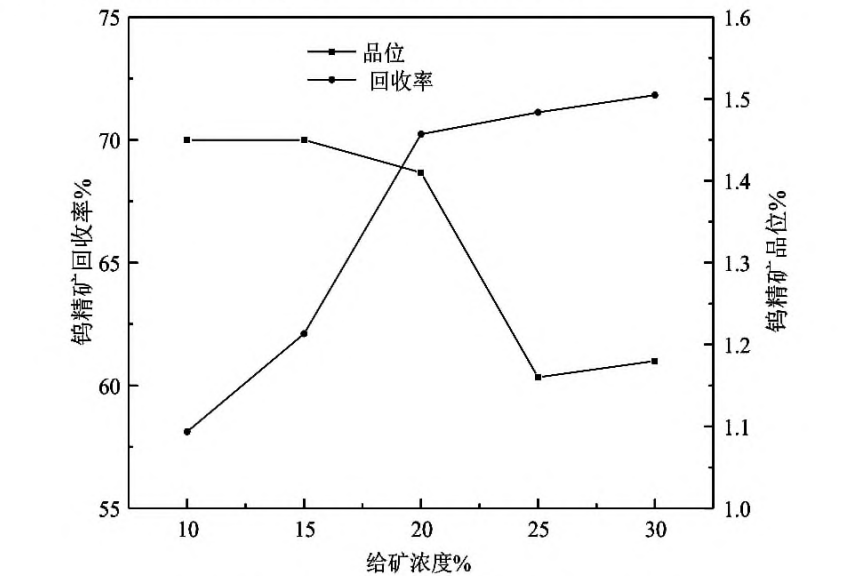


图 1 矿浆浓度条件试验结果
Fig. 1 Condition test results of pulp density

试验结果表明，随着给矿浓度的增加，钨精矿回收率先迅速升高后逐渐升高，精矿品位逐渐下降，给矿浓度达 20% 后回收率逐渐升高，精矿品位迅速下降。说明给矿浓度越高锥面上的矿浆分散分层效果不佳，在高浓度给矿条件下，随着盘面转动大量矿浆直接进入了精矿槽导致精矿品位迅速降低。为了获得较佳回收率的同时能保证精矿品位，给矿浓度控制在 20% 左右较佳。

2.3 振动频率试验

悬振锥面选矿机的振动频率大小是影响细粒级物料在锥面上分散、分层效果的关键因素，其值大小直接影响细粒级物料的回收效果^[9]。固定矿浆浓度 20%，悬振锥面选矿机转动频率 14 Hz，试验流程不变，进行锥面振动频率试验，试验结果见图 2。

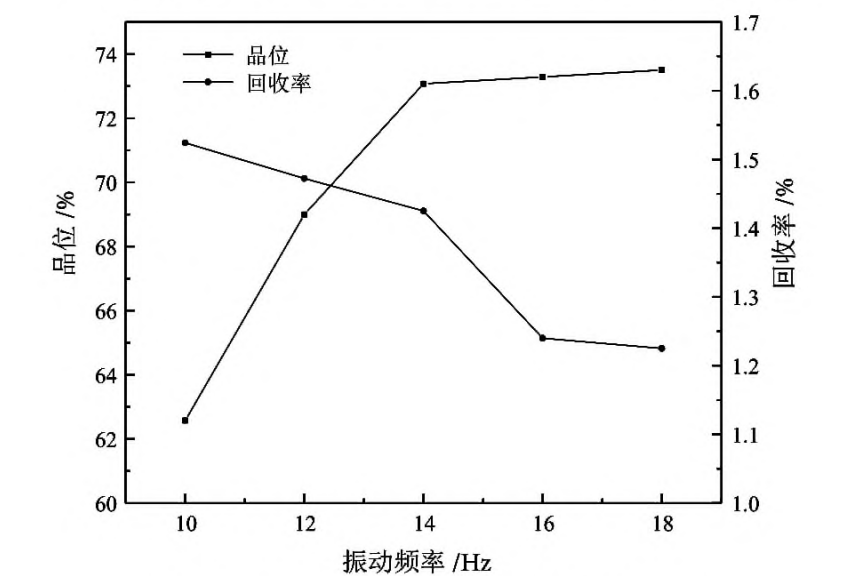


图 2 锥面振动频率条件试验结果
Fig. 2 Condition test results of vibration frequency

试验结果可知，随着锥面振动频率增大，精矿品位逐渐提高，14 Hz 后升高缓慢，回收率则降低到某点后急剧下降。由此说明，锥面振动频率越大，物料颗粒间剪切运动增强，矿浆更加分散，精矿品位提高，当锥面振动频率过大时，部分细粒级钨随着矿浆的表流层进入尾矿端导致回收率急剧降低。因此，振动频率在 14 Hz 左右可获得较优的精矿品位和回收率。

2.4 转动频率试验

锥面的转动频率大小直接影响物料在床面作用的时间长短，对精矿的品位和回收率有重大影响。固定矿浆浓度 20%，悬振锥面选矿机振动频率 14 Hz，试验流程不变，进行锥面转动频率试验，试验结果见图 3。

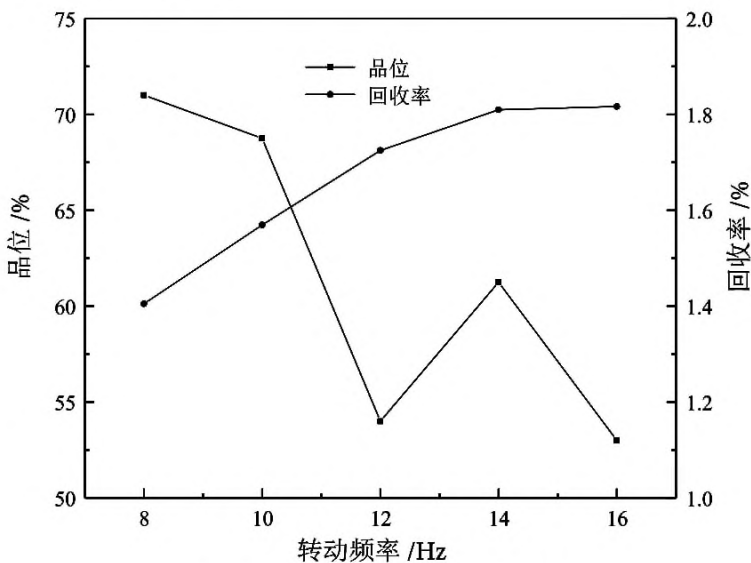


图 3 转动频率试验结果

Fig. 3 Condition test results of rotation frequency

试验结果表明，随着锥面转动频率增大，精矿品位逐渐降低，回收率逐渐升高。频率超过 14Hz 后精矿品位急剧降低，回收率升高变慢。由此说明，当锥面转速过快时，矿浆在锥面上分选时间过短，部分尾矿矿浆没有及时经过锥面表流层进入尾矿，直接进入精矿槽，造成精矿品位急剧降低。综合精矿品位和回收率考虑，锥面转动频率控制在 14 Hz 左右较佳。

2.5 闭路试验

在上述条件试验结果的基础上，进行小型闭路试验。试验流见图 4。试验结果见表 4。

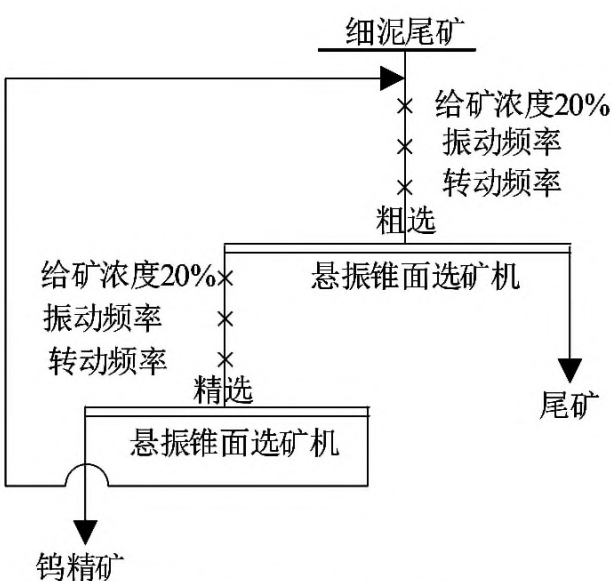


图 4 闭路工艺流程

Fig. 4 Closed -circuit test flow

表 4 闭路试验结果

Table 4 Results of closed- circuit test

试验项目	产品名称	产率 /%	WO ₃ / %	回收率 / %
流程优化 试验	钨精矿	0.65	25.12	68.09
	尾矿	99.35	0.077	31.91
	合计	100.00	0.24	100.00

试验结果可知，原矿采用一粗一精闭路工艺流程，可获得含 WO₃ 25.12%，回收率 68.09% 的钨精矿，精矿产品达到公司销售要求。

3 工业生产应用

3.1 工业生产调试

在实验室试验基础上，结合黄沙矿区选矿厂的实际情况，2018 年 6 月初新建锥面回收车间，现场安装 5 台悬振锥面选矿机（4 台用于粗选，1 台用于精选）。6 月中旬至 7 月 20 日根据图 4 工艺流程进行工业生产试验。

工业调试期间，每个班（8h）精矿和尾矿同时取样，取样间隔 20 min，最终混合为单班次精矿样品和尾矿样品。工业调试周期 30 d，精矿产品及尾矿样品工业生产结果见表 5。

表 5 工业生产结果

Table 5 Results of industrial manufacture

试验项目	产品名称	产率 /%	WO ₃ / %	回收率 / %
工业试验	钨精矿	0.64	24.23	67.25
	尾矿	99.36	0.076	32.75
	合计	100.00	0.23	100.00

由表 5 可知，经过近一个月工业调试，获得良好运行指标，钨精矿产品含 WO₃ 24.23%，回收率 67.25%。

3.2 工业应用效果

经过几个月的生产优化调试，该生产车间设备运行正常，工艺指标基本稳定，目前该系统可稳定产出含 WO_3 24% 左右的钨细泥产品，2019 年 4 月 ~ 12 月生产报表统计见表 6。

表 6 钨精矿产品生产报表
Table 6 Production report of tungsten concentrate

月份	数量 /t	分析结果 / %						
		水分	WO_3	Sn	Mo	Cu	Ca	S
2019.4	21.21	7.83	23.02	1.18	0.14	0.80	5.99	4.29
2019.5	21.21	7.83	23.02	1.18	0.14	0.80	5.99	4.29
2019.6	15.55	7.56	22.04	1.14	0.12	1.08	3.50	4.14
2019.7	11.00	5.75	24.31	1.55	0.16	1.66	4.41	6.52
2019.8	12.75	7.09	24.35	2.17	0.16	1.03	3.59	4.37
2019.9	14.75	7.90	25.64	2.04	0.17	1.32	4.30	5.18
2019.10	15.25	4.34	25.18	2.44	0.19	1.63	3.99	5.66
2019.11	14.75	4.30	21.60	2.02	0.17	1.52	4.34	6.77
2019.12	13.75	4.76	22.32	1.58	0.18	1.42	3.94	6.18

截止 2019 年底，锥面回收系统共产出钨精矿产品约 131.07 t（不含水分），折成 65% 的标准 t 约 50.54 t，目前该类产品市场销售价格为 8.3 万元 / 标 t，合计收益 419.482 万元，为企业增创了较大经济效益。

4 结 论

(1) 铁山垅钨业选矿厂钨细泥重选尾矿中含 0.24% 的 WO_3 ，采用悬振锥面选矿机可以有效回收。

(2) 通过“一粗一精”重选工艺闭路流程可获得含 WO_3 25.12% 钨精矿，回收率 68.09%。试验条件为矿浆浓度 20%，粗选悬振锥面振动频率 14 Hz、转动频率 14 Hz；精选悬振锥面振动频率 16 Hz、转动频率 14 Hz。

(3) 采用悬振锥面选矿机进行工业试验可获得含 WO_3 24.23% 钨精矿产品，回收率 67.25%。

(4) 投产以来设备运行正常，工艺指标稳定。截止 2019 年底，产出约 131.07 t 细级别钨精矿产品，含 WO_3 24.00% 左右，折成 65% 的标准吨约 50.54 t。

(5) 悬振锥面选矿机操作简单，运行稳定，应用于微细粒级矿物回收获得良好技术指标，对其他钨矿山回收微细级钨具有借鉴意义。

参考文献：

[1] 林培基. 铁山垅钨矿钨细泥回收工艺改进及生产实践 [J].

中国钨业 .2002,17(6):27-29.

Lin P J. Improvement of tungsten slime recovery process and production practice in tieshanlong tungsten mine [J]. China tungsten industry.2002,17(6):27-29.

[2] 李国彦. 颗粒群的分散压与流膜选矿机理 [J]. 有色金属 .1988,50(1):40-46.

Li G Y. Dispersion pressure and ore-dressing mechanism of particle groups [J]. Nonferrous metals.1988,50(1):40-46.

[3] 潘国柱. 流膜原理及其工艺的有关问题 [J]. 有色金属：选冶部分 ,1976(1):33-39.

Pan G Z. Principle of flow film and related problems of its technology [J]. Nonferrous metals: metallurgy part, 1976(1):33-39.

[4] 吴浩, 黄万抚, 邱峰, 等. 悬振锥面选矿机处理钨细泥 [J]. 矿产综合利用 ,2016 (6):43-48.

Wu H, Huang W F, Qiu F, et al. Treatment of Tungsten fine Mud with suspended vibration cone Surface Concentrator [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources,2016 (6):43-48.

[5] 姚栋, 杨波, 肖日鹏, 等. 悬振锥面选矿机在微细粒矿物分选中的应用 [J]. 矿山机械 ,2017,45(3):51-55.

Yao D, Yang B, Xiao R P, et al. Application of suspended vibration cone concentrator in the separation of fine minerals [J]. Mining machinery.2017,45(3):51-55.

[6] 黄翔, 杨波, 张雨田. 悬振锥面选矿机回收柿竹园 1500t/d 选矿厂黑钨细泥工业试验研究 [J]. 有色金属：选矿部分 ,2015(1):83-85

Huang X, Yang B, Zhang Y T. Experimental study on recovery of black tungsten fine sludge from shizhuyuan 1500T/D Concentrator with suspended vibration cone [J]. Non-ferrous Metals: Mineral Processing, 2015(1):83-85

[7] 秦广林, 王灿霞, 杨波. 悬振锥面选矿机处理华锡长坡选厂细粒锡尾矿试验研究 [J]. 矿冶 ,2011,20(2):40-46

Qin G L, Wang C X, Yang B. Experimental study on the treatment of fine tin tailings by suspended vibration cone concentrator in China tin changpo concentrator [J]. Mining & metallurgy,2011,20(2):40-46

[8] 聂软苗, 李卓林, 刘淑贤, 等. 悬振锥面选矿机在微细粒赤铁矿中的应用试验研究 [J]. 矿山机械 ,2014(10):46-50

Nie R M, Li Z L, Liu S X, et al. Experimental study on application of suspended vibration cone concentrator in fine hematite [J]. Mining Machinery,2014(10):46-50

[9] 杨波, 肖日鹏, 刘杰, 等. 悬振锥面选矿机回收细粒锡石试验研究 [J]. 矿冶 ,2014,23(2):73-76

Yang B, Xiao R P, Liu J, et al. Experimental study on recovery of fine cassite by suspended vibration cone concentrator [J]. Mining & metallurgy,2014,23(2):73-76

Application of Suspending and Vibrating Cone Concentrator to Concentration of Micro-fine Tungsten of Tieshanlong Tungsten Tailings in Jiangxi Province

Wen Xiaomao¹, Wang Jinmin¹, Tian Min²

(1. Jiangxi Tieshanlong Tungsten Co., Ltd., Ganzhou, Jiangxi, China;

2. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Zhengzhou, Henan, China)

Abstract: At present, Tieshanlong Tungsten industry has been using the traditional process to recover tungsten resources in tungsten slime. However, the tungsten slime tailings always contains about 0.24% tungsten. In order to recover tungsten resources as much as possible and improve the efficiency, the company experimental research on tungsten resource recovery in tungsten slime tailings. Research shows that, the suspension cone concentrator is the best equipment to recover the fine-grained tungsten in the tungsten slime tailings. Under the conditions of 20% ore concentration, rough selection of cone frequency 14Hz, rotation frequency 14Hz; selected cone frequency of 16Hz, which can be obtained the Tungsten concentrate with WO_3 25.12% and 68.09% recovery rate. Based on experimental research, Tieshanlong Tungsten industry has been conducted industrial production. Trial production for one month, the process is stable and can produce tungsten concentrate with 24% WO_3 and 67% recovery rate. According to production practices, by the end of 2019, Tieshanlong tungsten industry had produced 50.54 standard tons of tungsten slime products, which creates greater economic benefits for the company.

Keywords: Suspended vibration cone concentrator; Tungsten fine mud tailings; Finely graded tungsten; Production application

////////////////////////////////////
(上接 86 页)

Screening of Fungi and Condition Optimization for Biodegradation of Photooxidized Lignite

Li Jiantao^{1,3}, Liu Xiangrong², Yang Jie², Wang Zhiyu^{1,3}

(1. College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi, China; 3. Shaanxi Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Tailings Resources, Shangluo, Shaanxi, China)

Abstract: In order to obtain high-efficiency biodegradation strain for lignite, five fungi and four photooxidized lignites were tested by fungi-coal matching experiments. The dominant strain selected was *Phanerochaete chrysosporium*, and then the single factor experiments were carried out to determine the process conditions of biodegradation of photooxidation Inner Mongolia Shengli lignite by *Phanerochaete chrysosporium*. Finally, the optimum process conditions determined were as follows: coal slurry mass concentration of 0.3 g/20 mL, inoculum size of 1.5 mL/20 mL, incubation time of 16 d, oscillation frequency of 210 r/min, coal particle size of $-0.15+0.075$ mm and incubation temperature of 30℃. According to these conditions, the degradation effects of *Phanerochaete chrysosporium* degrading GZTH, GHYH and GYBH were studied. The results showed that under the conditions, the degradation effects of *Phanerochaete chrysosporium* degrading the three lignites were all improved to some extent.

Keywords: Fungi; Lignite; Coal biodegradation; Photooxidation pretreatment