

提高某铅锌矿尾砂分级沉砂产率的试验研究

李茂林^{1,2}, 李云¹, 邓小龙¹, 姜兴科¹

(1. 武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081;

2. 长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

摘要: 通过对旋流器结构参数的分析研究, 探讨了旋流器锥角、给矿段材质、溢流管和沉砂嘴直径、溢流管长度对铅锌矿尾砂分级沉砂产率的影响, 试验给出了不同旋流器锥角、给矿段材质和溢流管长度下的沉砂产率的变化情况。结果表明: 在本试验范围内, 给矿浓度为 21% 的条件下, 10° 单锥旋流器对尾砂分级沉砂产率的影响最大, 且 SiC 材质给矿段较不容易被磨损并对旋流器的沉砂产率有较为明显的影响, 当溢流管直径 20 mm, 沉砂嘴直径 48 mm, 溢流管长度为 285 mm 时, 旋流器分级沉砂产率最高值可达 49.37%。本试验对提高旋流器分级沉砂产率、改善矿山采充失调等具有一定的参考价值。

关键词: 钒钛磁铁矿; 高钛高炉渣; 提钛; 综合利用

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.01.020

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 01-0092-04

我国尾矿排放量巨大, 如有色金属矿山每选 1 t 矿石平均约产出 0.92 t 尾砂, 尾砂年产生量达 7780 万 t, 累计量约 11 亿 t。除了少部分得到应用外, 相当数量的尾砂都堆存在尾矿库, 给环境造成了严重的危害^[1]。利用尾矿回填地下采空区是处理尾矿的方法之一, 但是在实际生产充填过程中, 沉砂产率偏低造成井下采充失调, 是制约充填采矿的瓶颈^[2]。分级尾砂制备所用设备一般为旋流器, 旋流器是一种优于螺旋分级机的设备^[3], 但旋流器底流嘴和底流锥段内衬磨损是影响其分级效果的重要原因^[4]。分级产物矿浆浓度分布法计算表明沉砂口与溢流口直径决定了分级作业的产率^[5]。刘洁等^[6]进行对比试验研究, 考察分级溢流粒级含量、分级效率等指标, 确定了与实际生产过程相匹配的最佳工艺操作参数。林卫星^[7]根据充填需求的分级尾砂最低产率, 确定出旋流器工作压力及沉砂嘴管径。易峦等^[8]考察了旋流器沉砂口直径、溢流管直径和溢流管长度等结构参数对沉砂浓度的影响。为提高沉砂产率、增加用于充填

的粗颗粒产量, 曾凡霞等^[9]设计了多锥角旋流器。

综上所述, 大多数学者通过数值模拟、试验研究等分析了给矿浓度、溢流管直径和沉砂嘴直径等因素对尾矿分级沉砂产率的影响, 然而给矿段对分级沉砂产率的影响研究较少^[10]。基于此, 笔者在对旋流器结构参数对比分析的基础上, 开展了锥角、给矿段材质、溢流管和沉砂嘴直径、溢流管长度等因素对提高某铅锌矿尾砂分级沉砂产率的试验研究, 为矿山进行相关技术改革提供了依据。

1 试验方法

某矿山铅锌矿目前的尾砂分级试验工艺流程及取样点见图 1, 选厂尾矿进入 $\Phi 24$ m 浓密机脱水, 浓密机底流经高频振动筛隔渣, 筛下产物经渣浆泵给入到水力旋流器进行分级, 溢流部分送入 $\Phi 30$ m 浓密机, 旋流器的沉砂经陶瓷过滤机过滤, 溢流返回至 $\Phi 24$ m 浓密机进行再次沉降, $\Phi 24$ m 浓密机的溢流流入 $\Phi 30$ m 浓密机沉降, 底

收稿日期: 2017-10-14; 改回日期: 2017-10-24

作者简介: 李茂林 (1963-), 男, 教授, 主要从事选矿技术理论与研究工作。

流送入圆盘过滤机过滤，滤液送入 $\Phi 24\text{ m}$ 浓密机溢流中。试验过程中，分别在隔渣筛筛下、旋流器溢流管及沉砂口处取样，研究旋流器锥角、给矿段材质、溢流管与沉砂嘴直径、溢流管长度对铅锌矿尾砂分级沉砂产率的影响，并确定提高铅锌矿尾砂分级沉砂产率的最佳优化参数。

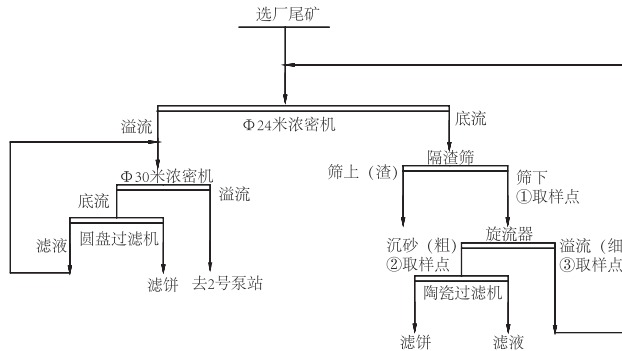


图 1 旋流器尾砂分级流程图及取样点

Fig. 1 Flow chart and sampling point of cyclone tailings

2 结果与分析

2.1 旋流器结构参数测量

目前生产用的旋流器具有两种结构的溢流管，一种给矿段是橡胶材质，一种是碳化硅材质，锥角分别为 $9.1 \sim 6.8^\circ$ 复锥和 10° 单锥。对已经解体的两台新旧旋流器进行测量，结果见表 1。

表 1 新旧旋流器结构参数对比表

Table 1 Comparison of structural parameters of new and old cyclone

结构	旧旋流器	新旋流器
溢流管直径	34	40
给矿段材质	橡胶	碳化硅
柱体高度	225	225
大锥体角度	18.5°	19.3°
小锥体角度	$6.8 \sim 9.1^\circ$ 复锥	10.0° 单锥

从表 1 可以看出，已解体的新旧旋流器大锥体角度相差不到 1° ，对旋流器尾砂分级沉砂产率的影响几乎可忽略不计，其最主要的区别是小锥体锥角、给矿段材质、溢流管直径的差异，一种锥角为复锥（锥体外壳为上下两段式），一种是单锥（锥体外壳为一体式），测量结果表明：旧旋流器给矿段为橡胶材质，其装配的锥角为 $9.1^\circ \sim 6.8^\circ$

复锥，溢流管直径为 34 mm；新旋流器给矿段为碳化硅材质，其装配的锥角为 10° 单锥，溢流管直径为 40 mm。

2.2 旋流器锥角试验

根据表 1 新旧旋流器结构参数对比表可知，其旋流器锥角分别为 10° 单锥和 $9.1^\circ \sim 6.8^\circ$ 复锥，在保证给矿浓度 21%，给矿段选用 SiC 材质，溢流管长度 285 mm，溢流管直径 20 mm，沉砂嘴直径 48 mm 的条件下，考察旋流器 $9.1^\circ \sim 6.8^\circ$ 复锥和 10° 单锥对旋流器铅锌矿尾砂分级沉砂产率的影响，试验结果见表 2。

表 2 $9.1 \sim 6.8^\circ$ 复锥和 10° 单锥旋流器对比试验

Table 2 Comparison test of $9.1^\circ \sim 6.8^\circ$ compound and 10° single cone cyclone

旋流器种类	产品名称	浓度 /%	产率 /%
$9.1 \sim 6.8^\circ$ 复锥	沉砂	70.27	43.56
	溢流	14.59	56.44
	给矿	21.00	100.00
10° 单锥	沉砂	62.08	49.37
	溢流	13.61	50.63
		21.00	100.00

从查定数据可以发现， 10° 单锥旋流器试验沉砂产率为 49.37%，相较于复锥，作业产率提高了 5.81%，这可能是由于锥角会影响物料在旋流器内的停留时间， 10° 单锥角度较大，离心强度高，能使更多的矿物进入沉砂，因此 10° 单锥沉砂产率比 $9.1^\circ \sim 6.8^\circ$ 复锥沉砂产率高，相应的回收率也较高。从而进一步证明 10° 单锥对提高旋流器分级沉砂产率的可靠性。

2.3 旋流器给矿段材质对比试验

取现场 $\Phi 24\text{ m}$ 浓密机底流经隔渣筛取筛下部分作为旋流器给矿，保持给矿浓度为 21%，溢流管长度 285 mm，旋流器锥体结构选择 10° 单锥，溢流管直径 20 mm，沉砂嘴直径 48 mm，考察 SiC 和橡胶两种给矿段材质对铅锌矿尾砂分级沉砂产率的影响。表 3 为不同工作时间不同给矿材质旋流器对 $\Phi 24\text{ m}$ 浓密机底流分级试验结果。

表3 不同工作时间内不同给矿材质旋流器尾砂分级试验
Table 3 Test results of tailings for different types of cyclones in different working hours

给矿段材质	工作时间/h	沉砂浓度/%	沉砂产率/%	给矿浓度/%
SiC	0	57.00	49.35	21.00
	12	72.00	49.80	21.00
	24	62.40	49.60	21.00
	36	63.67	48.00	21.00
	48	57.61	50.67	21.00
橡胶	0	75.00	45.65	21.00
	12	73.20	42.58	21.00
	24	75.88	40.98	21.00
	36	47.63	36.10	21.00
			54.17	28.42

由表3可以看出,随着工作时间的延长, SiC给矿段材质旋流器尾砂分级沉砂产率稳定在49, 48%左右,而橡胶材质旋流器在工作时间为36小时后,沉砂产率为36.10%,直降9.55%,到48小时后,沉砂产率为28.42%,且SiC材质一直高于橡胶材质旋流器尾砂分级沉砂产率,经拆卸后发现,橡胶材质的旋流器给矿段磨损较为严重,这有可能是由于SiC作为给矿段材质具有硬度大、耐磨、耐热等优点,而橡胶显微硬度低,较易被磨损,磨损环境对于旋流器分级有较明显的影响。因此,根据试验要求,要保证较高的沉砂产率,旋流器宜采用SiC给矿段材质。

2.4 溢流管和沉砂嘴直径试验

在保证给矿浓度21%,旋流器锥角选用10°单锥,给矿段选用SiC材质,溢流管长度285mm的条件下,考察旋流器溢流管和沉砂嘴直径同比扩大1.4倍对铅锌矿尾砂分级沉砂产率的影响,其中Du表示溢流管直径,Do表示沉砂嘴直径。得到的试验结果见表4。

表4 溢流管和沉砂嘴直径试验
Table 4 The diameter of overflow pipe and grift mouth test

旋流器种类	产品名称	浓度/%	产率/%
旧旋流器试验 (Du=14 mm, Do=34 mm)	沉砂	71.27	42.78
	溢流	14.59	57.22
	给矿	21.00	100.00
同比放大溢流管 和沉砂嘴直径试 验 (Du=20 mm, Do=48 mm)	沉砂	65.59	48.19
	溢流	13.86	51.81
	给矿	21.00	100.00

从表4可以看出,当Du=14 mm, Do=34 mm

时,旋流器角锥比为0.4,旋流器分级沉砂产率为42.78%,据查,当角锥比为0.4时,会有最大的分级效率值^[11],本试验在保持角锥比为0.4不变的基础上,按照1.4倍的系数同比放大溢流管和沉砂嘴直径(Du=20 mm, Do=48 mm)后,沉砂产率提高了5.41%,溢流管及沉砂嘴直径对旋流器分级轴向速度产生一定的影响,进而影响空气柱在旋流器内的稳定性,由此可见旋流器的分级效率、生产能力、沉砂产率、产物浓度与溢流管及沉砂嘴直径的大小有密切的关系,试验反映当Du=20 mm, Do=48 mm时,能有效提高旋流器尾砂分级沉砂产率。

2.5 溢流管长度试验

在保证给矿浓度为21%,旋流器锥体结构为10°单锥,给矿段选用SiC材质,溢流管直径20 mm,沉砂嘴直径48 mm下,不同溢流管长度对旋流器分级沉砂产率的影响,试验结果见表5。

表5 不同溢流管长度下旋流器的沉砂产率
Table 5 Sediment yield of cyclone under different length of overflow pipe

溢流管长度/mm	产品名称	浓度/%	产率/%
210	沉砂	89.53	30.30
	溢流	18.70	69.70
	给矿	21.00	100.00
265	沉砂	66.03	42.16
	溢流	13.25	57.84
	给矿	21.00	100.00
285	沉砂	69.08	47.92
	溢流	10.62	52.08
	给矿	21.00	100.00
305	沉砂	61.09	44.23
	溢流	12.86	55.77
	给矿	21.00	100.00

由表5中可见,在其他结构参数保持不变的情况下,随着溢流管长度的增加,沉砂产率随溢流管插入长度的增加也呈现先升后降的趋势,由30.30%增加至47.92%再减小至44.23%,溢流管长度为210 mm时的沉砂产率为30.30%,长度为285 mm时,旋流器尾砂分级沉砂产率最高,为47.92%,而当溢流管长度再增加时,沉砂产率并没有增大,反而降低,插入深度为305 mm时的沉砂产率为44.23%,这可能是由于将溢流管插入旋流器柱段可以避免短路路的形成或发展,有利于提高沉砂产率。因此确定溢流管在本试验中最佳长度为285 mm。

3 结 论

(1) 新旧旋流器最主要的区别是小锥体锥角、给矿段材质、溢流管直径的差异，测量结果表明：旧旋流器给矿段为橡胶材质，其装配的锥角为 9.1° - 6.8° 复锥，溢流管直径为 34 mm；新旋流器给矿段为碳化硅材质，其装配的锥角为 10° 单锥，溢流管直径为 40 mm。

(2) 通过试验研究， 10° 单锥旋流器尾砂分级沉砂产率可达 49.37%，与 9.1° ~ 6.8° 复锥相比，提高了 5.81% 是较理想的旋流器锥体结构，表明 10° 单锥能有效提高旋流器铅锌矿尾砂分级沉砂产率。

(3) 由于 SiC 作为给矿段材质具有硬度大、耐磨等优点，在试验研究 48 h 内，尾砂分级沉砂产率稳定在 49.48% 左右，而橡胶材质沉砂产率从 45.65% 降低为 28.42%，拆卸后发现，橡胶材质的旋流器给矿段磨损较为严重。因此，要保证较高的铅锌矿尾砂沉砂产率，旋流器宜采用 SiC 给矿段材质。

(4) 原有溢流管直径 14 mm 和沉砂嘴直径 34 mm，在保持角锥比为 0.4 不变的基础上，按 1.4 倍的系数同比放大，沉砂产率提高了 5.41%，试验表明同比放大溢流管和沉砂嘴直径（ $D_u=20$ mm， $D_o=48$ mm）后有利于提高旋流器铅锌矿尾砂分级沉砂产率。

(5) 在其他结构参数保持不变的情况下，溢流管长度由 210 mm 增加至 305 mm 时，旋流器铅锌矿尾砂分级沉砂产率先升后降，当溢流管长度

为 285 mm 时，沉砂产率最高。因此确定本试验溢流管最佳长度为 285 mm。

参考文献：

- [1] 王俊, 张金桃, 杨涛涛, 等. 凡口铅锌矿尾矿库废弃地生态恢复实践 [J]. 韶关学院学报, 自然科学版, 2016, 37(8): 44-49.
- [2] 李茂林, 王帆, 孙肇淑, 等. 凡口铅锌矿充填用细粒级尾砂脱泥与过滤试验 [J]. 金属矿山, 2012, 438(12): 144-148.
- [3] 朱圣林. 旋流器结构参数优化实践 [J]. 现代矿业, 2011(507): 95-97.
- [4] 刘常春, 王小斌, 赵建群. 提高水力旋流器分级效果的应用研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(9): 19-21.
- [5] 黄伟生, 谢加文, 邓海波. 旋流器结构参数对白钨浮选给矿分级的影响 [J]. 中国钨业, 2013, 28(6): 17-20.
- [6] 刘洁. 旋流器在一段磨矿分级中工作参数的试验研究 [J]. 科学与财富, 2015(11): 148-149.
- [7] 林卫星. 全尾砂旋流器分级试验研究 [J]. 黄金, 2016, 37(7): 44-46.
- [8] 易峦, 孙伟. 水力旋流器的结构参数对某矿山铅锌矿分级性能的影响 [J]. 矿冶工程, 2008, 28(2): 39-43.
- [9] 曾凡霞, 李茂林, 张磊. HHZ 新型旋流器提高粗颗粒充填尾砂产率的试验研究 [J]. 金属矿山, 2009(12): 53-55.
- [10] 王帆. 某矿山铅锌矿微细粒级尾砂分级过滤试验研究 [M]. 湖北: 武汉科技大学, 2014.
- [11] 陈海军. 分选黄铁矿用旋流器结构研究 [M]. 湖北: 武汉科技大学, 2015.

Experimental Study on Increasing Sediment Yield of Classified Tailings in a Lead - zinc Mine

Li Maolin^{1,2}, Li Yun¹, Deng Xiaolong¹, Jiang Xingke¹

(1. School of Resource and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei China; 2. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co. Ltd., Changsha, Hunan, China)

Abstract: Through the analysis of the optimal structural parameters of the hydrocyclone, the effects of the cone angle, the feed section material, the diameters of the overflow pipe and grit mouth, and the length of the overflow pipe on the graded yield of the tailings of the lead and zinc ore are discussed. The results show the change of the grit rate under different cone angle, feed section material, and length of overflow pipe. The results show that the 10 degrees single cone hydrocyclone has the greatest influence on the graded yield of tailings, and the SiC material is less likely to be worn out under the condition of 21% feed concentration. And the graded sedimentation rate of the cyclone is more obviously affected. When the diameter of the overflow pipe is 20 mm and the diameter of the grit mouth is 48mm, the length of the overflow pipe is 285mm, the highest rate of cyclone grading is up to 49.37%. This test has some reference value for improving the hydrocyclone grading and the mining efficiency of mine.

Keywords: Hydrocyclone; Sediment yield; Structural parameter; Tailings