

悬振锥面选矿机对柿竹园萤石精矿再选钨试验研究

邱凯, 杨波, 肖日鹏, 孙欢

(昆明理工大学, 云南 昆明 650093)

摘要: 本次试验研究对象为柿竹园萤石精矿。原矿含 CaF_2 295.5%, Sn 0.059%, WO_3 0.13%。为了回收萤石精矿中的钨, 对原矿进行粒度分析后, 采用新型选矿设备—悬振锥面选矿机进行试验研究。通过试验研究, 确定了设备的最佳进行参数, 经过一次粗选, 可获得品位 10.56%, 回收率 32.23% 的钨精矿, 钨品位富集了 81 倍, 而萤石精矿选钨后, 萤石品味提高了 2.8 个百分点。试验结果证明, 悬振锥面选矿机对柿竹园萤石精矿再选钨有良好的回收效果。

关键词: 悬振锥面选矿机; 萤石精矿; 钨矿

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.02.009

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1000-6532 (2018) 02-0037-05

湖南柿竹园多金属矿是一座特大型钨、钼、铋、萤石多金属矿, 探明的钨储量占全国可利用钨储量的 27%, 占世界钨储量的 14%; 铋占全国储量的 74%; 锡石占全国储量的 14%; 钼占全国储量的 5%^[1]。随着江西、广东和湖南一带钨矿石品位逐年下降和储量逐渐枯竭, 柿竹园多金属矿已成为我国正在开发中的有色金属矿产资源综合利用和钨、铋的重要生产基地。

一直以来, 柿竹园钨浮选后的尾矿进行萤石浮选, 但是经研究发现, 最终得到的萤石精矿中含有少量钨, 使得萤石精矿品位不高^[2]。为了充分利用矿产资源, 提高企业效率, 提高萤石精矿的品位和钨的回收率, 萤石精矿再选钨试验研究被提上了工作日程。以柿竹园萤石精矿为研究对象, 采用悬振锥面选矿机进行选矿工艺的试验研究, 最终取得了较好的试验指标, 很好地解决了柿竹园从萤石精矿中回收钨矿这一难题。

1 湖南柿竹园主干全浮流程

针对柿竹园多金属矿的矿石性质, 在确定合理选矿工艺流程时, 必须考虑最大限度地综合回收钨、钼、铋和萤石四种有价矿物, 其中钨矿物

的回收占第一位。过去主要研究过的流程有重—浮流程、浮—重—浮流程、磁—浮流程和硫化矿物、钨矿物、萤石依次浮选的主干全浮流程^[3]。但此主干全浮流程指标差, 原因主要是没有很好解决黑钨矿和白钨矿同步浮选、钨矿物和含钙矿物的分离的问题。通过“八五”科技攻关, 螯合捕收剂在柿竹园多金属矿钨浮选中获得成功的应用, 使主干全浮流程得到认同, 彻底解决了多年来对主干流程的选择问题^[4]。其中, 柿竹园法主干全浮原则流程见图 1。

过去由于钨浮选过程中钨粗精矿带走大量的易浮萤石和萤石受到强烈的抑制, 使萤石浮选回收十分困难。但是, 通过高效螯合捕收剂在钨浮选中的成功应用为萤石的回收创造了有利条件。螯合捕收剂浮钨在自然 pH 值下进行, 萤石没有收到强烈的抑制, 且对含钙矿物选择性好, 有 97% 以上的萤石进入萤石浮选作业。

但是, 通过分析得知, 萤石浮选后的萤石精矿品位不高, 含有少量的钨矿物, 直接影响萤石精矿的销售。研究发现, 钨矿物进入到萤石精矿中, 可能有以下几个方面的原因:

(1) 在钨浮选中, 由于加药制度不能随着矿浆

收稿日期: 2016-09-03; 改回日期: 2017-03-09

作者简介: 邱凯 (1992-), 男, 硕士研究生在读。

流量变化而及时改变,导致药剂制度的不匹配,药剂不能充分将钨矿浮选上来,所以有一部分钨矿物随尾矿进入萤石中。在浮选萤石时,由于药剂作用,使得这部分钨矿物在萤石浮选工艺中进入萤石精矿中。

(2) 由于该地区多金属矿物共生密切,因此有一部分钨矿物在磨矿时,有可能没有单体解离,而是仍然与萤石形成连生体,在采用整合捕收剂将萤石抑制时,这部分的钨矿物在钨浮选时也被抑制而不能上浮。在萤石浮选时,以连生体形式被捕收。

(3) 进入萤石浮选的部分钨矿物的可浮性与萤石可浮性极其相似。在浮选萤石流程中,这部分钨矿物与萤石一同被浮上来,从而进入到萤石精矿中。

(4) 柿竹园多金属钨钼铋萤石矿物嵌布粒度粗细不均,原矿必须经过细磨,这必将产生大量的次生矿泥,钨矿物在磨矿过程中也有相当一部分发生泥化。细粒级的矿物极容易被矿泥罩盖住,表面不能被药剂吸附,因而不能上浮,进入下一段工艺中。在选萤石工艺中,这部分钨矿泥被萤石夹带进入精矿。

这部分钨矿物不仅对萤石精矿品位产生影响,还造成了钨资源的极大浪费,因此,将这部分钨矿物分离出来,对提高萤石精矿品位和综合回收钨资源具有重要意义,同时,也能产生较大的经济价值。

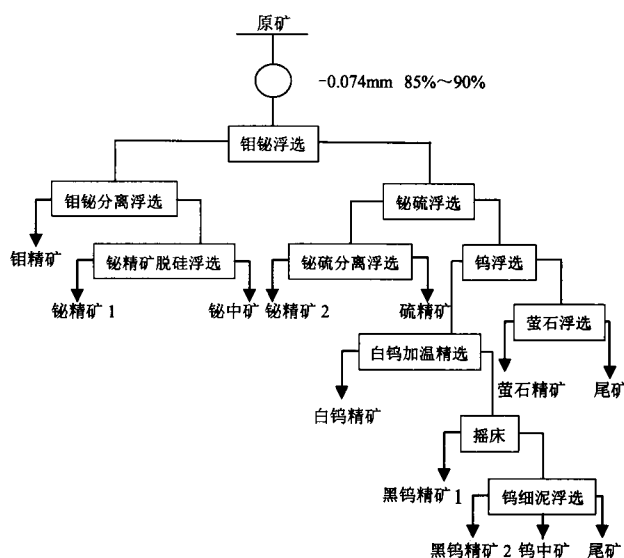


图 1 柿竹园主干全浮流程原则流程

Fig. 1 The main process flow diagram of the principle of full floating in Shizhuyuan

2 萤石精矿矿物成分及性质

试验矿样为浮选萤石精矿,含 CaF_2 295.5%, Sn 0.059%, WO_3 30.13%, 粒度较细 -0.074 mm 97.46%,且矿样含有絮凝剂,遇水部分矿物形成絮团。将所取的萤石精矿进行粒度分析,粗砂采用标准筛筛分,细砂采用水析法,分级结果见表 1。

表 1 粒度分析结果

Table 1 The analysis results of particle size

产品粒级/mm	产率/%	WO ₃ 品位/%		WO ₃ 回收率/%		
		个别	累计	个别	平均	个别
+0.106	0.71	0.71	0.31	0.31	1.56	1.56
-0.106 +0.074	1.83	2.54	0.21	0.238	2.72	4.28
-0.074 +0.045	20.37	22.91	0.21	0.123	30.30	34.58
-0.045 +0.038	10.85	33.76	0.16	0.196	12.29	46.87
-0.038 +0.018	51.30	85.06	0.12	0.150	43.60	90.47
-0.018	14.94	100.00	0.090	0.14	9.53	100.00
给矿	100.00		0.14		100.00	

萤石精矿粒度分析结果表明,萤石精矿中的钨主要分布在 $-0.074 +0.018 \text{ mm}$ 粒级中,占 82.52%,并且钨在 $+0.045 \text{ mm}$ 以上含量相对较高,占 77.09%。因此,这一部分的钨是此次试验研究主要回收的对象。

3 悬振锥面选矿机及其分选原理

悬振锥面选矿机是由杨波教授在内的昆明理工大学专家团队经过多年努力,依据拜格诺剪切松散理论^[5]和流膜选矿原理^[6]研制开发出的一种微细粒新型重选设备。特别适用于细粒

物料,尤其适用于 $-0.037 +0.019 \text{ mm}$ 范围内微细粒矿物的选别^[7]。由表 1 粒度分析结果可知,萤石精矿中的钨主要分布在 $-0.074 +0.018 \text{ mm}$ 粒级中,占 82.52%,此矿物符合悬振锥面选别粒度的最佳粒度范围。鉴于该悬振锥面选矿机对细粒级矿物回收效果好,因此采用实验室型悬振锥面选矿机对柿竹园萤石精矿再选钨进行试验研究。

3.1 设备结构

悬振锥面选矿机由主机、分选面、给矿装置、给水装置、接矿装置、电控系统等 6 大部分组成^[8]。

3.2 工作原理

悬振锥面选矿机类似于其他细泥重选设备,

都是根据拜格诺理论和流膜选矿原理设计而成的。行走电动机驱动主动轮从而带动从动轮在圆形的轨道上做圆周运动,从而带动分选面做匀速圆周运动;同时,振动电动机驱动偏心锤做圆周运动,使分选面产生有规律的振动。

矿浆首先经分选面中心上面的给矿器搅拌均匀,然后进入分选面,随着分选面的不断转动形成扇形从而逐渐铺展开来,并在分选面振动和自身重力的作用下向周边流动,流膜缓慢变薄,流速也随之降低。矿粒群在自身重力和旋回振动产生的剪切斥力作用下在分选面上适度的松散、分层,形成表流层、流变层和沉积层。分选面的转动,以及在渐开线洗涤水、精矿冲水的分选作用下,将不同密度的矿物依次带进到尾矿槽、中矿槽和精矿槽。

分选面上矿层的分布符合层流矿浆流膜结构,最上面的表流层由粒度小且密度小的轻矿物构成,该层的脉动速度较小,其值大致决定了粒度回收的下限,大部分悬浮矿粒在给矿区随即进入尾矿槽。中间的为流变层主要是粒度小而密度大的重矿物和粒度大而密度小的轻矿物,该层厚度最大,拜格诺力也最强。由于该层粒群的密集程度较高,又没有大的垂直介质流速干扰,故分层能够接近按静态条件进行,所以流变层是按密度分层的较有效区域。随着分选面的转动,部分矿物在精选区洗涤水的作用下被排入中矿槽。最下面的沉积层主要由密度大的重矿物组成,颗粒的粒度分布规律是靠近分选面中心粒度较细,越接近边缘粒度越大。该层的细粒以及微细粒重矿物容易与分选面粘结,难以被矿浆流带走。因此在精矿区加水冲洗,即可得到精矿^[9]。

4 选矿工艺试验研究

萤石精矿中的钨主要分布在 $-0.074 \sim +0.018$ mm 粒级中,占82.52%,此矿物符合悬振锥面选别的较佳粒度范围。因此,此次试验用

悬振锥面选矿机对柿竹园萤石精矿再选钨进行试验研究。试验目的在于考察悬振锥面选矿机回收柿竹园萤石精矿中的钨的作业效率、设备运行稳定性以及对所处理物料的适应性。试验流程见图2。

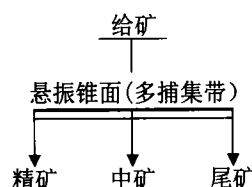


图2 悬振锥面机选别试验流程

Fig. 2 The separation flowsheet of the hang-vibrate of cone concentrator

4.1 悬振锥面选矿机条件试验

4.1.1 分选面回旋振动频率试验

分选面回旋振动的动力是由安装在振动支架上的偏心重锤做周期摆动来提供,研究分选面的振动频率就是研究偏心重锤的摆动频率。分选面振动频率是悬振锥面选矿机的核心参数,直接影响选别效果。偏心重锤的摆动速度决定了分选面振动频率的大小,其值影响着矿粒在分选面上的运动状态和床层中轻重矿物之间的松散程度,同时它也对矿浆流膜析离分层时的强度起关键性作用。合适的回旋振动频率,主要与入选物料的粒度、密度以及矿物之间的比重差等有关。如果振动频率过小,那么矿粒分层不松散,轻矿物颗粒就不能有效地悬浮进而导致精矿品位不高。频率过大,那么矿粒群之间的层间剪切力就会过大,矿粒过度松散,导致重矿物颗粒进入尾矿,精矿回收率降低^[10]。

本次试验的主要目的是为了考察分选面在不同的回旋振动强度下分选指标的变化情况,从而确定适合该矿样的振动频率。调节分选面的振动频率,是通过调节重锤的旋转周期来实现的,即通过调节变频器来控制重锤旋转频率。保持其他试验条件不变,分别为:分选面转动频率为8Hz、矿浆浓度为20%,改变分选面的振动频率,试验结果见表2。

表 2 振动频率试验结果
Table 2 Results of vibration frequency test

分选面 振动频 率 /Hz	产品名称	产率 /%	WO ₃ 品位 /%	WO ₃ 回收 率 /%
16	精 矿	0.41	6.03	20.89
	中 矿	1.74	2.57	37.78
	尾 矿	97.82	0.05	41.33
	给 矿	100.00	0.13	100.00
18	精 矿	0.38	9.73	22.42
	中 矿	2.34	2.89	41.01
	尾 矿	97.28	0.06	36.57
	给 矿	100.00	0.13	100.00
20	精 矿	0.32	11.27	23.81
	中 矿	1.96	2.48	32.37
	尾 矿	97.72	0.06	43.82
	给 矿	100.00	0.13	100.00
22	精 矿	0.26	12.37	22.22
	中 矿	2.46	2.53	42.83
	尾 矿	97.28	0.05	34.95
	给 矿	100.00	0.13	100.00

从表 2 可以看出,随着分选面振动频率的加大,精矿中 WO₃ 品位呈现上升趋势,回收率则是先升高然后又逐渐降低。这说明当分选面振动频率加大时,颗粒所受到的剪切力逐渐增大,随之床层的松散、析离分层现象逐渐明显,矿物群颗粒的有效分选效果加强,精矿品位得到提高;但是,如果分选面振动频率过大,弱紊流矿浆流膜中的变流层厚度增加,一部分目的矿物会进入表流层,随之流入尾矿槽,使得精矿回收率降低。因此,综合考虑,振动频率在 20Hz 左右时可获得较优的品位和回收率。

4.1.2 分选面转动速度试验

悬振锥面选矿机分选面的转动有三个意义:第一个是通过分选面转动将分选过的物料分别运送到相应的尾矿槽、中矿槽和精矿槽;第二个是通过分选面转速的控制调节处理量;第三个也是最重要的一个意义,则是通过改变分选面转速来影响分选指标。分选面转动速度直接决定了分选物料在设备上的停留时间,也就是影响了颗粒群在分选面上运动的时间,进而对其运动轨迹也有着重大影响。因此它对精矿的品位及回收率起到决定性作用。当分选面转速过大时,物料在分

选面上停留时间过短,颗粒群还来不及松散、分层或分层不完全,导致了脉石矿物未及时排除就直接在重力和洗涤水的作用下带到精矿槽,从而降低精矿品位。当转速过小时,物料在分选面上时间过长,已经完成分选的重矿物颗粒在分选面振动、自身重力以及洗涤水的作用下进入尾矿槽,从而导致精矿回收率降低^[11]。

分选面的转速是通过调整变频器的输出频率来控制,随着输出频率提高,分选面转速也相应提高。保持其他工艺参数均不变,分别为:分选面振动频率为 20Hz,给矿矿浆浓度为 20%,改变分选面的转动频率,试验结果见表 3。

表 3 转动频率试验结果
Table 3 Results of rotation frequency test

分选面 转动频 率 /Hz	产品名称	产率 /%	WO ₃ 品位 /%	WO ₃ 回收 率 /%
6	精 矿	0.52	6.58	29.85
	中 矿	1.75	1.02	15.57
	尾 矿	97.73	0.06	54.58
	给 矿	100.00	0.13	100.00
8	精 矿	0.4	8.04	30.58
	中 矿	1.33	1.08	13.66
	尾 矿	97.75	0.06	55.76
	给 矿	100.00	0.13	100.00
10	精 矿	0.39	10.56	32.23
	中 矿	2.00	1.06	16.59
	尾 矿	97.61	0.06	51.18
	给 矿	100.00	0.13	100.00
12	精 矿	0.41	9.98	34.20
	中 矿	1.93	1.04	16.78
	尾 矿	97.77	0.06	49.02
	给 矿	100.00	0.13	100.00

从表 3 的试验结果可知,随着分选面转动频率的增大,钨精矿中 WO₃ 的品位逐渐升高然后降低。这说明当分选面转动频率过低时,细粒钨矿还没有到精矿槽就流入到了尾矿槽中,从而使精矿的品位不高;当分选面转动频率逐渐增大时,物料在分选面上的停留时间加大,颗粒群得到松散、分层机会,精矿品位则随之提高;当转动频率过大时,矿浆还没有经过充分的分选就直接流入到精矿槽,从而导致精矿品味降低。另外,随着分选转动频率的增加,回收率也逐渐升高。当分选精矿能够满足

相应富集比的时候,应尽可能的提高转动频率,来获得较高的钨回收率。所以,为了获得较佳的回收率,综合考虑,转动频率选择在 10 Hz。

4.2 分选前后萤石指标分析

当悬振锥面选矿机振动频率控制在 20 Hz 以及转动频率为 10Hz 时,分别对选别前的萤石精矿和选别后的尾矿进行分析。

萤石精矿经悬振锥面选矿机一次粗选后,萤石回收率为 97.61%,品位为 98.30%,比原矿品位提高了 2.8 个百分点。

通过表 2、3 结果表明,萤石精矿经悬振锥面选矿机一次粗选,悬振锥面选矿机对钨矿物的富集具有一定的作用。当悬振锥面选矿机的振动频率控制在 20Hz 以及转动频率为 10Hz 时,可获得精矿产率 0.39%,钨品位 10.56%,回收率 32.23% 的选别指标,钨的品位富集了 81 倍,而选别后的萤石品位提高了 2.8 个百分点,选别效果优越。

5 结 论

(1) 柿竹园钨浮选后的尾矿进行萤石浮选,经研究发现,最终得到的萤石精矿中含有少量钨,使得萤石精矿品位不高。为了回收萤石精矿中的钨,对萤石精矿粒度分析可知,萤石精矿中的钨主要分布在 $-0.074+0.018$ mm 粒级中,为 82.52%,并且钨在 $+0.045$ mm 以上含量相对较高,为 77.09%。而悬振锥面选矿机适合于 0.10 mm 到 0.01 mm 的细粒矿物重力选矿^[11]。此矿物符合悬振锥面选别的最佳粒度范围,因此采用实验室型悬振锥面选矿机对其进行试验研究。

(2) 试验研究所取的萤石精矿矿样含 CaF_2 95.50%, Sn 0.059%, WO_3 0.13%, 采用实验室型悬振锥面选矿机一次粗选后,当振动频率控制在 20Hz 以及转动频率为 10Hz 时,可得到品位 10.56%,回收率为 32.23% 的钨精矿,钨富集了 81 倍,而选别后的萤石品味比原矿提高了 2.8 个百分点,试验效果明显。因此,悬振锥面选矿机对柿竹园萤石精矿再选钨可行。

参考文献:

- [1] 孙传尧,程新朝,李长根. 钨铋钼萤石复杂多金属矿综合选矿新技术—柿竹园法[J]. 有色金属:选矿部分, 2004.
- [2] 刘望,陈述明. 柿竹园低品位复杂萤石浮选工艺研究[J]. 湖南有色金属, 2010, 26(5):8-10.
- [3] 周基校,李长根. 钨铋钼萤石多金属矿的选矿工艺进展[J]. 有色金属:选矿部分, 1999 (2): 7-12.
- [4] 肖庆苏,李长根. 柿竹园多金属矿 CF 法浮选钨主干全浮选矿工艺研究[J]. 矿冶, 1996 (03).
- [5] 黄枢. 拜格诺剪切理论在矿泥重选中的应用[J]. 中南矿冶学院学报, 1983(2):9-14.
- [6] 李彦国. 颗粒群的分散压与流膜选矿机理[J]. 有色金属, 1998,50(3):41-46.
- [7] 杨波,段希祥,罗雪梅,等. 悬振锥面选矿机 CP2. 中国: CN101733189A, 2010-06-16.
- [8] 黄翔,杨波,张雨田. 悬振锥面选矿机回收柿竹园 1500t/d 选厂黑钨细泥工业试验研究[J]. 有色金属:选矿部分, 2015(1):83-85.
- [9] 杨波,肖日鹏. 悬振锥面选矿机回收细粒锡石试验研究[CD]J. 昆明:昆明理工大学, 2014.
- [10] 贺涛. 攀钢选钛厂强磁尾矿再选工艺研究[CD]J. 昆明:昆明理工大学, 2015.
- [11] 李振,刘炯天,翟爱峰,等. 细粒矿物分选技术探讨[J]. 矿山机械, 2008,36 (13): 90-94.

Experimental Study on Using HVC Concentrator Re-concentration recovery of Tungsten from Fluorite Concentrate in Shizhuyuan

Qiu Kai, Yang Bo, Xiao Ripeng, Sun Huan

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China)

Abstract: The object of this research is fluorite concentrate in Shizhuyuan. The raw ore assays CaF_2 95.5%, Sn 0.059%, WO_3 0.13%. To recover the tungsten from fluorite concentrate, after particle size studies, using a new type of mineral processing equipment—the hang-vibrate of cone concentrator. The best operating parameters were determined by condition tests, after a roughing, the grade and the recovery of tungsten concentrates at 10.56% and 32.23%, tungsten grade enrichment of 81 times, and after recovering the tungsten from fluorite concentrate, the grade of fluorite increased by 2.8%. The results demonstrate that HVC concentrator is favorable for re-concentration recovery of tungsten from fluorite concentrate in Shizhuyuan.

Keywords: HVC Concentrator; Fluorite Concentrate; Tungsten Mine