

国内某选矿厂铜钼分离浮选前脱药方案比较

Comparison of Pre-Desliming Schemes for Copper-Molybdenum Separation Flotation in a Domestic Mineral Processing Plant

罗良烽,王艳彬,何荣权(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

摘要:对国内某大型铜钼选矿厂铜钼分离前脱药流程优缺点的对比,以及对脱药方案进行综合技术经济比较,根据方案比较的结果并结合国内类似选矿厂的生产经验,推荐“搅拌+浓缩机脱水+加硫化钠磨矿擦洗”脱药方案。

关键词:铜钼混合精矿;铜钼分离浮选;脱药

中图分类号: TD952 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2025)05-0067-04

Abstract: Through a comparison of the pre-separation dephosphorization processes of copper and molybdenum in a large domestic copper-molybdenum beneficiation plant, and a comprehensive technical and economic comparison of the dephosphorization schemes, based on the results of the scheme comparison and combined with the production experience of similar domestic beneficiation plants, the “stirring + thickener dewatering + grinding and scrubbing with sodium sulfide” dephosphorization scheme is recommended.

Key words: copper-molybdenum mixed concentrate; separation of copper-molybdenum; drug removal

1 前言

我国铜钼矿资源储量大,铜矿物和钼矿物常常又以铜钼伴生状态产出,但作为铜钼伴生矿物中钼的品位较低,而铜钼两种矿物的可浮性相近,矿物表面润湿性的差异又较小,使得国内外选厂在实际生产过程中铜钼分离的难度加大。目前,国内选厂生产中主要采用混浮后再分离技术处理铜钼共生的矿石,铜钼混合精矿浮选分离技术主要包括抑铜浮钼和抑钼浮铜^[1]。选厂在采用“抑铜浮钼”工艺时,常常需要通过添加无机抑制剂或有机抑制剂来抑制硫化铜矿再浮选辉钼矿,但抑制剂在现场使用过程中均存在一些问题^[2]。黄铜矿和辉钼矿具有较难抑制的特点,因此铜钼分离成为相关科研工作者研究的热点和难点^[3]。

铜钼分离前则需要先进行脱药,力求脱除铜钼混合精矿中的捕收剂及对残余在矿物表面的捕收剂进行解吸,为铜钼分离提供有利条件。常见的脱药方法包括浓缩、加温、氧化及活性炭吸药等^[4]。其中浓缩脱药是由于通过混合浮选得到的铜钼混合精矿中有大量的黄原酸类捕收剂,为了减少捕收剂对黄铜矿可浮性的影响及黄铜矿抑制剂的使用量,在

进行铜钼分离之前,则需要浓缩脱药处理。浓缩脱药是浓缩或过滤以脱除矿物表面残留的捕收剂,其脱药设备通常采用浓缩机或水力旋流器对混合精矿进行脱药^[5],有时也会采用过滤机对混合精矿进行过滤,并增加喷水进行洗涤,滤饼再次调浆后进行浮选^[6]。本文将对铜钼分离前脱药流程的优缺点进行论述,以国内某铜钼矿为例就铜钼分离前拟选的脱药方案进行技术经济比较分析。

2 脱药流程的优缺点比较

国内铜钼矿的浮选工艺大多采用铜钼混浮后再进行铜钼分离的工艺,因此,铜钼混浮系统产出的铜钼混合精矿中均留有残留药剂如捕收剂、起泡剂等^[7]。铜钼分离时这些残留药剂会对铜的抑制产生不利影响,故需在铜钼分离前对铜钼混合精矿进行脱药处理,去除溢流水中残留药剂,以便回水中残留药剂不影响铜钼混合浮选系统,再在后续分离系统中加入新水或对分离系统没有影响的回水进行调浆。

目前国内外常规采用的脱药流程有以下三种:

流程 I:旋流器分级+底流浓缩机脱药;

流程 II:搅拌槽搅拌+浓缩机脱药;

[作者简介] 罗良烽(1980—),男,江西吉安人,高级工程师,主要从事造矿工程咨询和设计工作。

[引用格式] 罗良烽,王艳彬,何荣权.国内某选矿厂铜钼分离浮选前脱药方案比较[J].中国矿山工程,2025,54(5):67-70.

流程Ⅲ:浓缩+过滤或直接压滤脱药。

据相关文献报道,德兴铜矿采用流程Ⅰ进行铜钼分离前的脱药作业;普朗铜矿和玉龙铜矿采用流

程Ⅱ进行铜钼分离前的脱药作业;流程Ⅲ则一般用于金矿浸出前的脱水^[8]。以上三种常规脱药流程的优缺点见表1。

表1 常规脱药流程优缺点

内容	流程Ⅰ 旋流器分级+底流浓缩机	流程Ⅱ 搅拌槽搅拌+浓缩机	流程Ⅲ 浓缩+过滤或压滤
优点	旋流器分级后,受药剂污染相对严重的细粒级不参与脱药流程,直接为铜精矿,可最大限度减小脱药浓缩机的规格,同时分离系统药剂单耗相对降低	全粒级参与铜钼分离,钼精矿回收率高	脱药较彻底,分离作业矿浆药剂残留物较低。全粒级参与铜钼分选,钼精矿回收率高
缺点	因旋流器溢流不参与铜钼分选,钼精矿回收率低,经济效益受到一定影响	受药剂污染相对严重的细粒级脱药较困难,需更大规格的浓缩机脱水,同时分离系统药剂单耗相对较高	过滤或压滤投资和成本相对高,浓缩机及过滤厂占地面积大。分离系统药剂单耗相对较高

3 脱药试验流程及指标

3.1 试验样的矿石性质

国内某铜钼矿选厂为在产矿山,选别采用的是“一粗两扫三精中矿顺序返回”的工艺,每年可获得19万5的铜钼混合精矿,铜钼混合精矿中钼含量在0.1%~0.4%。为了综合回收有价的钼金属,进一步提高矿山产品的附加值,增加矿山的整体效益。委托了某试验单位对铜钼混合精矿进行分离技术的研究,采取的试验样化学多元素分析结果见表2。

表2 化学多元素分析结果

元素	Cu	Mo	C	S	MgO	K
含量/%	23.60	0.30	0.26	33.89	0.41	0.46
元素	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe	CaO	Na	
含量/%	1.80	7.88	30.04	0.41	0.59	

3.2 选矿试验情况

国内某铜钼矿选厂委托某试验单位完成了铜钼分离试验研究工作,所出具的试验报告中对铜钼混

合精矿进行了多方案的脱药试验。脱药试验方案简述如下:

(1)“搅拌槽搅拌+上层清液脱水”试验,即将铜钼混合精矿置于搅拌槽中充分搅拌后再使其沉淀,将上层清液滤出,底部矿浆再次调浆后进入铜钼分离系统。

(2)“加硫化钠搅拌+滤出上层清液+加硫化钠搅拌+滤出上层清液”试验,即加一定量的硫化钠进入搅拌槽中与铜钼混合精矿一起搅拌后沉淀,将上层清液滤出,底部矿浆调浆后再进行一遍“加硫化钠搅拌+滤出上层清液”,第二次沉淀的底部矿浆再次调浆后进入铜钼分离系统。

(3)“搅拌+滤出上层清液+加硫化钠磨矿擦洗”,即将铜钼混合精矿置于搅拌槽中充分搅拌后再使其沉淀,将上层清液滤出,底流进行磨矿擦洗,以露出新鲜表面,然后再进入铜钼分离系统,擦洗的同时将硫化钠加入磨机中。

以上三个脱药方案对应的铜钼分离试验结果详见表3。

表3 三个脱药流程铜钼分离试验结果

脱药方式	产率/%	品位/%		回收率/%		硫化钠用量/ kg·t ⁻¹	D117用量/ kg·t ⁻¹
		Cu	Mo	Cu	Mo		
搅拌槽搅拌+ 滤出上层清液	钼精矿	0.62	2.08	0.006	77.93	10	10.8
	铜精矿	99.38	23.49	99.94	22.07		
	给矿	100.00	23.36	100.00	100.00		
两次“加硫化钠搅拌+ 滤出上层清液”	钼精矿	0.38	0.21	0.003	73.99	17	5.1
	铜精矿	99.62	23.81	99.997	26.01		
	给矿	100.00	23.72	100.00	100.00		
搅拌槽搅拌+ 滤出上层清液+ 加硫化钠磨矿擦洗	钼精矿	0.35	0.43	0.006	70.02	17	5.1
	铜精矿	99.65	24.19	99.994	29.98		
	给矿	100.00	24.11	100.00	100.00		

从表2的试验结果可看出,(1)“搅拌槽搅拌+滤出上层清液”试验中的给矿钼品位较高,为0.32%。由于脱药作业未加硫化钠,上层清液中不含硫化钠,可直接返至铜钼混合浮选系统回用。但钼精矿品位仅为39.62%,未达到精矿品质品位45%以上的要求。(2)两次“加硫化钠搅拌+滤出上层清液”试验中的给矿钼品位较低,为0.245%。两次搅拌作业加硫化钠共17 kg/t。上层清液中含硫化钠,不能直接返至铜钼混合浮选系统回用,若需回用则需进行污水处理或输送至尾矿库进行自然降解。(3)“搅拌+上层清液脱水+加硫化钠磨矿擦洗”试验中的给矿钼品位最低,为0.236%。脱药作业不加硫化钠,擦洗作业需加硫化钠17 kg/t。上层清液水中不含硫化钠,可直接返至铜钼混合浮选系统回用。

4 脱药方案技术经济比较

4.1 方案比较及说明

若采用“旋流器分级+底流浓缩机脱水”脱药方案会大幅度降低钼精矿的回收率;而采用“搅拌槽搅拌+浓缩机脱水”脱药方案,因未添加硫化钠作为抑制剂,铜钼分离系统产出的钼精矿的品位低,达不到钼精矿的品质要求。由于选厂为改造项目,受到拟建场地限制,浓缩与过滤两段脱药工艺难以实施,因此只考虑浓缩或过滤一段脱药。一段过滤脱药即为铜钼混合精矿直接泵送至过滤前的矿浆分配箱,然后自流至过滤器进行压滤脱药。根据该铜钼矿的矿石性质以及为了尽可能不对现有混合浮选系统造成影响并达到脱药的预期效果,拟定了以下三个脱药方案进行比较,即:

方案 I:“搅拌槽搅拌+浓缩机脱水+加硫化钠磨矿擦洗”方案;

方案 II:“加硫化钠搅拌+浓缩机脱水”方案;

方案 III:“一段过滤器或压滤机脱水”方案。

其中方案 I 浓缩机溢流水中不含硫化钠,溢流直接泵送至选厂的高位水池作为混合浮选系统的流程用水。方案 III 过滤器或压滤机滤液也不含硫化钠,可直接泵送至选厂的高位水池。方案 II 经计算浓缩机溢流量约为 2 800 m³/d,该部分溢流水需进行污水处理后方能返回至铜钼混合浮选系统。由于在试验过程中未进行污水的成分测定和污水处理试验,根据同类污水处理试验数据,本脱药方案比较中污水处理成本按 27 元/m³测算。

从理论上分析,方案 III 因脱去混合精矿矿浆中

约 90% 的水份,所以矿浆中液相脱药效果较为彻底,为最大限度降低滤饼中残留的药剂对铜钼分离指标产生影响,分离作业硫化钠总用量也会适当增加,本次比较按分离作业增加 5 kg/t 取值。方案 II 经过一次“加硫化钠(共 10 kg/t)搅拌+浓缩机脱水”,其脱药效果应差于两次“加硫化钠搅拌浓缩机脱水”。受试验内容的限制,方案 II 和 III 未进行对应的铜钼分离试验,本次比较按三个脱药方案所得到的铜钼分离指标一致进行。

4.2 各方案主要设备

根据所确定的脱药方案,各脱药方案将采用强力搅拌槽进行铜钼混合精矿的搅拌、普通浓缩机进行搅拌后矿浆的脱水以及立式搅拌磨机进行脱药擦洗。考虑到某铜钼混合精矿采用陶瓷过滤机生产多年,积累了丰富的经验,且脱水效果和经济性较好,本次比较将采用陶瓷过滤机作为方案 III 的过滤设备。根据目前选厂过滤作业的成本消耗,同时考虑铜钼混合精矿采用直接过滤的方式,其入料浓度低,导致过滤设备单位处理能力小,过滤作业成本将会随之增加,因此本次比较过滤作业除电耗外的成本拟取 30.5 元/t。

前序混合浮选系统所产出的混合精矿的浓度为 18%,本次比较约定搅拌槽搅拌时间为 15 min,浓缩机单位处理能力按 0.55 t/d·m²计,浓缩机底流浓度按 55%计,立式搅拌磨机的功耗按 11 kW·h/t。陶瓷过滤机的单位处理能力按 0.11 t/h·m²计。在以上的约定比较条件和基础上,三个参比方案的主要设备选型分别见表 4、表 5 和表 6。

表 4 方案 I 主要设备

序号	设备名称	型号及规格	台数	装机功率/ kW·台 ⁻¹
1	脱渣筛		1	5.5
2	搅拌槽	φ2.5 m×2.5 m	3	18.5
3	浓缩机	φ45 m	1	2×18.5
4	渣浆泵	4/3C-AH	4	15
5	立式搅拌磨机	JM-1800	2	180

表 5 方案 II 主要设备表

序号	设备名称	型号及规格	台数	装机功率/ kW·台 ⁻¹
1	脱渣筛		1	5.5
2	搅拌槽	φ2.5 m×2.5 m	3	18.5
3	浓缩机	φ45 m	1	2×18.5
4	渣浆泵	4/3C-AH	2	15
5	污水泵		2	45
6	污水处理系统	2 800 m ³ /d	1(套)	340

表6 方案Ⅲ主要设备表

序号	设备名称	型号及规格	台数	装机功率/kW·台 ⁻¹
1	脱渣筛		1	5.5
2	搅拌槽	φ2.5 m × 2.5 m	2	18.5
3	渣浆泵	6/4D-AH	2	30
4	陶瓷过滤机	120 m ²	3	93.5
5	带式输送机	B = 1 000 mm	2	22.5

4.3 各方案比较结果

各方案比较结果详见表7。

表7 各方案比较结果

序号	项目	单位	方案Ⅰ	方案Ⅱ	方案Ⅲ
1	生产数据				
1.1	处理能力	万 t/a	19	19	19
1.2	年运转天数	d	330	330	330
1.3	日运转时数	h	24	24	24
2	综合数据				
2.1	安装功率	kW	518	558	428
2.2	操作工及维修工数	人	4	8	8
3	基建投资				
3.1	设备购置及安装	万元	788	1 138	633
3.2	建筑工程	万元	467	604	485
3.4	合计	万元	1 255	1 742	1 178
4	电、钢材等消耗				
4.1	单位矿石电耗	kWh/t	19	24	14
	年电耗	万 kWh	361	456	266
4.2	单位矿石钢球消耗	kg/t	0.1		
	年钢球耗量	t/a	19		
4.3	磨矿设备单位矿石衬板消耗	kg/t	0.02		
	年衬板耗量	t/a	3.8		
4.4	硫化钠消耗	g/t	10 000	10 000	5 000
		t/a	1 900	1 900	950
5	生产费用				
5.1	电价	元/kWh	0.50	0.50	0.50
	电费	万元/a	181	228	133
5.2	钢球价格	元/t	8 000	8 000	8 000
	钢球费用	万元/a	15	0	0
5.3	磨机衬板价格	元/t	14 700	14 700	14 700
	磨机衬板费用	万元/a	5.6	0	0
5.4	年人工费	万元/人·a	10	10	10
	年人工费用总额	万元/a	40	80	80
5.5	污水处理材料消耗	元/m ³		27	
		万元/a		2495	
5.5	陶瓷板及酸消耗	元/t			30.5
		万元/a			580
5.6	硫化钠消耗	元/t	3 000	3 000	3 000
		万元/a	570	570	285
5.7	生产费用合计	万元/a	812	3 373	1 078

注:表7中,电价、硫化钠单价、钢球单价、衬板单价、年人工费用等数据均由现场收集所得。

5 结论

(1)从基建费用可比部分来看,方案Ⅱ最高,方案Ⅰ比方案Ⅲ高77万元,方案Ⅰ的基建费用是最低的。

(2)从生产费用可比部分来看,方案Ⅰ较方案Ⅲ低266万元/年,因此方案Ⅰ要优于方案Ⅲ。

(3)综上所述,推荐方案Ⅰ即“搅拌槽搅拌+浓缩机脱水+加硫化钠磨矿擦洗”脱药方案。

[参考文献]

- [1] 雷贵春. 旋流器在德兴铜矿铜钼分离工艺中的应用[J]. 矿冶, 2005(1): 32-36.
- [2] 李尧, 文书明, 丰奇成, 等. 铜钼混合精矿浮选分离技术研究进展[J]. 金属矿山, 2018(7): 13-18.
- [3] 邓星星, 殷志刚, 胡坤杉. 铜钼分离有机抑制剂开发与应用[J]. 甘肃冶金, 2022, 44(5): 11-14, 18.
- [4] 严海. 铜钼浮选分离新型抑制剂及其机理研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2022.
- [5] 杨晓峰, 刘瑶瑶. 铜钼矿浮选研究现状与进展[J]. 矿冶, 2021, 30(6): 42-47.
- [6] 孟奇, 崔毅琦, 童雄, 等. 铜钼分离技术现状与趋势[J]. 矿冶, 2014, 23(2): 19-22+39.
- [7] 马敏洁, 韩跃新, 李慧. 铜钼混合精矿预处理强化铜钼分离研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2023, 3: 43-50.
- [8] 代宗, 蒋天国, 方建军, 等. 铜钼混合精矿浮选分离的研究进展[J]. 矿山机械, 2017, 45(4): 1-6.