

云南某铜钼混合精矿选别工艺流程设计改造与生产实践^①

田小松¹, 褚力新², 梁泽跃¹, 余浔²

(1. 云南迪庆有色金属有限责任公司, 云南 香格里拉 674408; 2. 中国瑞林工程技术股份有限公司, 江西 南昌 330031)

摘要: 系统介绍了云南某铜钼混合精矿分选流程及现有设备, 对其进行了工艺流程改进和设备优化配置。改造后铜钼分离系统处理能力由 25.00 t/h 提升到 35.70 t/h, 钼品位提高了 3.98 百分点, 钼金属回收率提高了 5.74 百分点, 电耗降低 10.21%, 单位钼金属成本降低 7.06%, 经济效益显著。

关键词: 铜钼混合精矿; 铜钼分离; 工艺流程; 设备选型; 黄铜矿; 辉钼矿; 钼; 铜; 流程改造

中图分类号: TD95; TD923

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2025.02.013

文章编号: 0253-6099(2025)02-0076-04

Improvement and Production Practice of Co/Mo Separation Process for Co-Mo Bulk Concentrate in Yunnan

TIAN Xiaosong¹, CHU Lixin², LIANG Zeyue¹, YU Xun²

(1. Yunnan Diqing Nonferrous Metal Co., Ltd., Shangri-La 674408, Yunnan, China; 2. China Nerin Engineering Co., Ltd., Nanchang 330031, Jiangxi, China)

Abstract: The separation process and the on-site equipment used for processing a copper-molybdenum bulk concentrate in Yunnan are systematically introduced. By improving the technical flowsheet and optimizing configuration, the processing capacity of Cu/Mo separation system can be increased from 25.00 t/h to 35.70 t/h, while the Mo grade and recovery are improved by 3.98 and 5.74 percentage points, respectively. Meanwhile, the power consumption can be reduced by 10.21%, and the unit production cost of Mo metal can be reduced by 7.06%, bringing a good economic benefit.

Key words: copper-molybdenum bulk concentrate; Cu/Mo separation; process flowsheet; equipment configuration; chalcopyrite; molybdenite; molybdenum; copper; process reformation

钼是自然界中分布较少的一种元素。工业上最重要的钼矿物为辉钼矿^[1]。目前, 从斑岩型铜钼矿床中综合回收钼矿物是获得钼金属的重要途径, 但这类矿石普遍存在原矿品位低、铜钼嵌布关系复杂、铜钼混合精矿分离难度大等技术难题^[2-4], 因此, 开发铜钼高效分离技术对提高斑岩型铜钼矿石资源中伴生钼的利用率、保障矿山开发的可持续发展具有重大意义。

本文结合云南某铜矿现场铜钼矿分选车间现有流程及生产数据, 并从现有场地、工艺技术、投资及成本等方面进行综合分析, 通过改进选别工艺流程及优化设备选型, 确定适合现有铜钼分选的工艺流程和设备, 可为类似铜钼分选技术改造和产品升级提供技术依据。

1 铜钼混合精矿性质

云南某铜矿是典型的斑岩型铜矿床。矿石中主要铜矿物为黄铜矿、微量斑铜矿和砷黝铜矿; 钼矿物主要为辉钼矿, 未见氧化钼矿物; 该铜矿经过 SABC (semi autogenous-ball mill-crushing circuit, 半自磨-球磨破碎回路) 碎磨工艺, 经粗磨抛尾、混合浮选(一粗三扫二精、粗选精矿立磨) 后得到铜钼混合精矿。在生产现场就地接取铜钼混合精矿, 取样并进行分析, 样品矿物组成见表 1, 化学多元素分析结果见表 2。

2 铜钼分选车间现状

选矿厂铜钼分离系统原设计处理能力 28 t/h,

① 收稿日期: 2024-10-25

基金项目: 云南省重大科技专项计划项目(202202AB080012)

作者简介: 田小松(1984—), 男(土家族), 贵州德江人, 硕士, 高级工程师, 主要从事磨矿及浮选工艺方面的研究。E-mail: txsongcm@163.com

表 1 样品矿物组成(质量分数)

黄铜矿	斑铜矿	黝铜矿	黄铁矿	磁黄铁矿	闪锌矿	方铅矿	辉钼矿		
83.865	0.054	0.070	8.461	0.078	0.107	0.098	1.922		
毒砂	石英	长石	白云母	氟碳钙铈石	绿泥石	角闪石	绿帘石		
0.021	1.226	2.225	0.378	0.007	0.254	0.041	0.258		
褐帘石	滑石	高岭石	方解石	锌铁尖晶石	菱铁矿	磷灰石	褐铁矿		
0.042	0.068	0.084	0.232	0.002	0.019	0.056	0.032		
金红石	楣石	白云石	黑云母	磷铝锶石	重晶石	其他	合计		
0.046	0.086	0.062	0.112	0.003	0.003	0.088	100.000		

表 2 样品化学多元素分析结果(质量分数)

Cu	Mo	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	S	Fe	As	Pb	Zn
26.18	0.65	3.3	46.9	31.46	29.23	<0.10	0.046	0.10
Na	Ni	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ge	Ga	
0.18	0.007 1	0.52	0.28	0.28	2.58	<0.005	0.000 65	

1) 单位为 g/t。

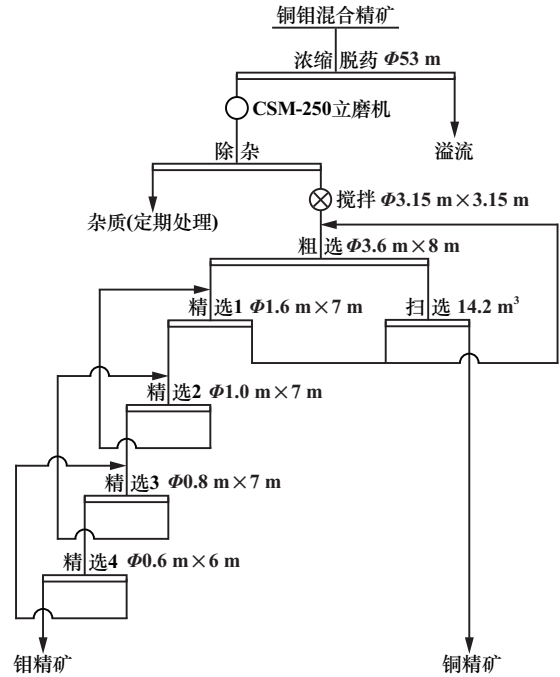


图 1 铜钼分离原生产流程

Fig. 1 Original flowchart of Cu/Mo separation

表 3 原生产数据

Table 3 Original production data

产品名称	产率/%	产量/(t·h ⁻¹)	钼品位/%	回收率/%
钼精矿	1.13	0.28	43.00	75.00
铜精矿	98.87	24.72	0.16	25.00
原矿 (铜钼混合精矿)	100.00	25.00	0.65	100.00

表 4 原生产主要设备明细

Table 4 Main equipment in original production

工艺	设备规格	数量	备注
浓缩脱药	Φ53 m 浓密机	1	周边传动
擦洗脱药	250 kW 立磨机	1	—
粗选	Φ3.6 m × 8 m	1	自吸式浮选柱
除杂	HZD-I-650	1	自动旋转除杂机
精选 1	Φ1.6 m × 7 m	1	自吸式浮选柱
精选 2	Φ1.0 m × 7 m	1	自吸式浮选柱
精选 3	Φ0.8 m × 7 m	1	自吸式浮选柱
精选 4	Φ0.6 m × 6 m	1	自吸式浮选柱
扫选	Wemco 14.2 m ³	3	自吸式浮选柱

2019 年生产调试后系统处理能力约 20 t/h 时,选矿指标较好;但处理量逐步提升后,选矿指标下降明显,且处理量仅能达到 27 t/h。

目前选矿厂采用抑铜浮钼的铜钼分离工艺流程,混合浮选所得铜钼混合精矿自流至 Φ53 m 浓密机进行一次脱药,底流通过渣浆泵输送至铜钼分选厂房立磨机擦洗脱药,然后采用 1 次粗选、4 次精选和 1 次扫选,最终获得铜精矿和钼精矿。原生产流程如图 1 所示,相应的生产数据见表 3。铜钼分选车间处理能力仅 25.00 t/h,铜钼混合精矿入料钼品位 0.65%,钼回收率 75.00%。

铜钼分离 1 次粗选和 4 次精选流程各采用 1 台 FSMC 旋流静态微泡自吸式浮选柱,1 次扫选采用 3 台艾法史密斯 14.2 m³ 自吸式浮选机,原生产主要设备明细见表 4。

根据选矿厂规划,后期处理混合精矿量需达到 35 t/h,以目前的铜钼分离系统设备处理能力根本无法满足处理主流程产出的铜钼混合精矿的要求,因此需对方案进行改造。

3 改造方案

经过现场长期的自行优化及调试,铜钼分离系统运行稳定,同时已开展过的磁预选项目^[5]所使用的场地、设备、厂房等设施均可利旧使用。改造前,确定改造原则如下:① 为了减少对现有生产的影响,尽量做到改造期间维持正常生产;② 为节省投资、减少工程改造量,充分利用已有设施;③ 增加的粗、扫选设备类型按已有的自吸式浮选设备类型进行选型;④ 粗选和

扫选设备能力不足,采用浮选柱或浮选机替换;⑤ 现有的精选 1~4 浮选设备用于精选 2~5。

根据以上改造原则,综合考虑现有可用场地,分析列出了 3 种改造方案,详见表 5。从表 5 可知,尽管方案 3 设备购置费中等,但设备可以利旧,同时可以在不影响基本生产的情况下进行改造升级,沿用现场已有的设备类型进行扩产,设备适配性更高,成本适中。综合考虑,决定按照方案 3 进行设计改造。

表5 改造方案优缺点分析

Table 5 Advantages and disadvantages of modification schemes

方案	具体内容	优点	缺点
1	新购6台30 m ³ 浮选机作为粗选和扫选设备 设备购置费216万元	① 基本不影响生产 ② 浮选机采用吸浆槽和直流槽搭配,可简化配置,减少中间过程的矿浆输送 ③ 流程简洁	① 原有扫选浮选机搁置,造成浪费 ② 参考铜、钼生产数据,以浮选机为粗、扫选设备对回收率有保障,但入选粒度为-45 μm 粒级占92%,浮选机作为粗选设备,其选别指标有待验证
2	新购1台粗选浮选柱、1台精选浮选柱和3台30 m ³ 浮选机(扫选) 设备购置费246万元	① 基本不影响生产 ② 浮选柱对细颗粒矿物浮选效果更优 ③ 流程简洁	① 原有扫选浮选机搁置,造成浪费 ② 新增粗选浮选柱和原有浮选柱规格不同,并联作业时需增加分矿设施,可能会给流程带来不稳定性 ③ 粗选作业中间过程的矿浆需增加输送泵来泵送
3	新购1台粗选浮选柱、1台精选浮选柱、3台16 m ³ 浮选机(扫选) 设备购置费228万元	① 基本不影响生产 ② 浮选柱对细颗粒矿物浮选效果更优 ③ 扫选浮选设备利旧	① 新增粗选浮选柱和原有浮选柱规格不同,并联作业时需增加分矿设施,可能会给流程带来不稳定性 ② 粗选作业中间过程的矿浆需增加输送泵来泵送 ③ 扫选作业变为扫选1和扫选2,扫选2精矿和扫选1尾矿需要泵送,增加了流程的复杂性

4 工艺流程改造

4.1 拟定的工艺流程及指标

结合现场实际生产经验,铜钼混合精矿分选采用浮选柱的生产指标较好,生产管理和操作运营均已熟悉,同时由于现有场地有限,浮选柱占地更小,确定新增浮选柱匹配现有浮选设备来提高生产能力。拟定的工艺流程如图2所示,对应的选矿工艺指标见表6。

表6 拟定的选矿工艺指标

Table 6 Proposed beneficiation process indices

产品名称	产率/%	产量/(t·h ⁻¹)	钼品位/%	回收率/%
钼精矿	1.30	0.46	43.00	80.00
铜精矿	98.70	34.54	0.14	20.00
原矿 (铜钼混合精矿)	100.00	35.00	0.70	100.00

原扫选作业采用艾法史密斯14.2 m³自吸式浮选机,由于国外设备单价偏高,目前国内同等规格的浮选机应用很广泛,技术成熟度也很好,拟采用国内同等规格浮选机用于新增的浮选作业。拟定的主要设备明细见表7。

表7 拟定的主要设备明细

Table 7 Proposed main equipment

工艺	设备名称	型号规格	数量	备注
粗选 1-1	浮选柱	FCSMC-Φ3.6 m×8 m	1	利旧
粗选 1-2	浮选柱	FCSMC-Φ2.8 m×8 m	1	新增
扫选 1	浮选机	XCF/KYF-16 m ³	3	新增
扫选 2	浮选机	Wemco 14.2 m ³	3	利旧
精选 1	浮选柱	FCSMC-Φ2.4 m×7 m	1	新增
除杂	自动旋转除杂机	HZD-I-650	1	利旧
精选 2	浮选柱	FCSMC-Φ1.6 m×7 m	1	利旧
精选 3	浮选柱	FCSMC-Φ1.0 m×7 m	1	利旧
精选 4	浮选柱	FCSMC-Φ0.8 m×7 m	1	利旧
精选 5	浮选柱	FCSMC-Φ0.6 m×6 m	1	利旧

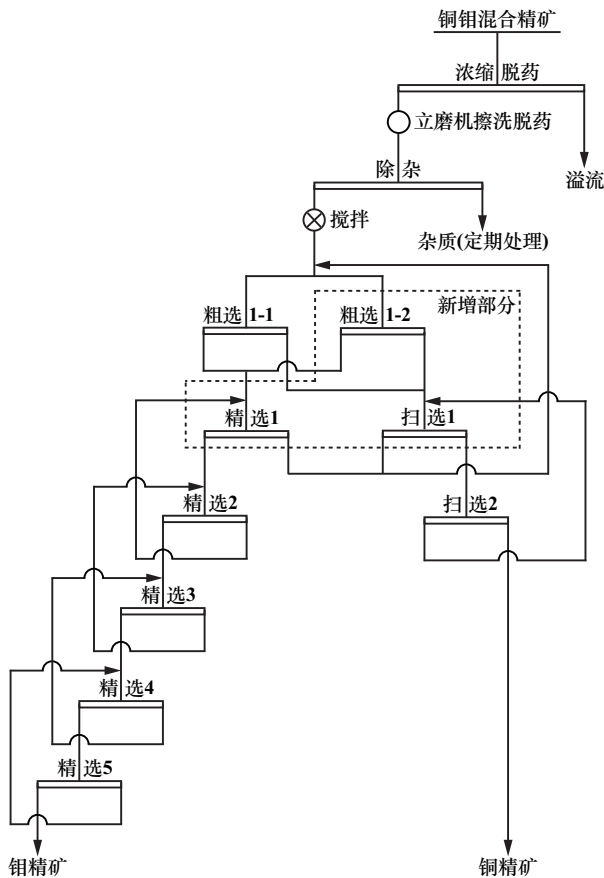


图2 拟定的铜钼分离工艺流程

Fig. 2 Proposed flowchart of Cu/Mo separation

4.2 改造升级后的技术经济指标

通过现场一个月的调试及逐步优化,选取了新改造系统投运后第2个月的生产指标,详见表8。与原生产数据相比,改造后的生产流程实际处理能力由25.00 t/h提高到35.70 t/h,铜钼分离系统钼金属回收率提高了5.74个百分点,较设计指标提高了0.74个百分点,成效显著,运行指标优于预期。

表8 改造后生产数据

Table 8 Production data after modification

产品名称	产率/%	产量/(t·h ⁻¹)	钼品位/%	回收率/%
钼精矿	0.84	0.30	46.98	80.74
铜精矿	99.16	35.40	0.095	19.26
原矿 (铜钼混合精矿)	100.00	35.70	0.489	100.00

选取新改造系统投运后第2个月的能耗及单位金属成本进行对比统计,详见表9。

表9 关键指标数据

Table 9 Key indicators

项目	处理量/ (t·h ⁻¹)	装机 功率/kW	单位钼金属成本/ (万元·t ⁻¹)	能耗/ (kWh·t ⁻¹)
改造前	25.00	1 400	3.40	56.00
改造后	35.00	1 760	3.16	50.28

通过对铜钼分选系统的工艺及设备改造,实际产能提升40%,钼品位提高了3.98个百分点,铜钼分离钼作业回收率提高5.74个百分点,电耗成本降低10.21%,单位钼金属成本降低7.06%,按照钼精矿当前市场价格计算,年增效益超过2 000万元。运行效果达到设计目标。

5 结论

云南某铜钼混合精矿选别流程原选矿系统处理能力在20 t/h左右时,浮选指标较好,但处理量提升后指标下降明显,无法满足处理主流程产出的铜钼混合精矿处理35.00 t/h的能力要求。结合现场实际情况,通过分析、设计并采取一系列优化措施和设备调整,进行了针对性改造,改造后铜钼分离系统处理能力提升到35.70 t/h,钼金属回收率提高5.74个百分点,电耗降低10.21%,单位钼金属成本降低7.06%,经济效益显

著提升。本设计改造可为类似铜钼分选车间的技术改进和产品升级提供技术依据和参考。

参考文献(References):

- [1] 王威,李以科,封宁. 全球铜矿资源格局分析[J]. 资源与产业, 2013,15(5):27-32.
WANG Wei, LI Yike, FENG Ning. Global copper resource pattern[J]. Resources & Industries, 2013,15(5):27-32.
 - [2] 朱月锋,刘炯天,曹亦俊,等. 某斑岩型铜矿铜钼分离试验研究[J]. 矿山机械, 2011(1):99-104.
ZHU Yuefeng, LIU Jiongtian, CAO Yijun, et al. Study on copper and molybdenum separation tests for a porphyry copper[J]. Mining & Processing Equipment, 2011(1):99-104.
 - [3] 黄鹏亮,杨丙桥,胡杨甲,等. 氧化预处理对铜钼浮选分离效果的影响[J]. 矿冶工程, 2021,41(3):46-50.
HUANG Pengliang, YANG Bingqiao, HU Yangjia, et al. Influence of oxidation pretreatment on chalcopyrite-molybdenite flotation separation efficiency[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2021,41(3):46-50.
 - [4] 张曙光,简胜,唐鑫,等. 某含钼低品位硫化铜矿综合回收钼的选矿研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(1):48-51.
ZHANG Shuguang, JIAN Sheng, TANG Xin, et al. Comprehensive recovery of molybdenum resource from low-grade molybdenum-bearing copper sulfide ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(1):48-51.
 - [5] 杨若瑜,彭远伦,陈禄政,等. 细粒铜钼混合精矿磁选分离机理及工业试验研究[J]. 矿山机械, 2022(2):95-99.
YANG Ruoyu, PENG Yuanlun, CHEN Luzheng, et al. Study on mechanism and industrial test of magnetic separation of fine copper-molybdenum bulk concentrate[J]. Mining & Processing Equipment, 2022(2):95-99.
- 引用本文:田小松,褚力新,梁泽跃,等. 云南某铜钼混合精矿选别工艺流程设计改造与生产实践[J]. 矿冶工程, 2025,45(2):76-79.
TIAN Xiaosong, CHU Lixin, LIANG Zeyue, et al. Improvement and production practice of Co/Mo separation process for Co/Mo bulk concentrate in Yunnan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(2):76-79.

版权声明

本刊已许可国内外文献检索系统或数据库在其官网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。同时矿冶工程杂志官网已实行论文全文免费开放获取。本刊按矿冶工程杂志相关规定向作者一次性支付稿酬及著作权使用费后,本刊及相关合作单位不再向作者支付其他费用。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。

矿冶工程杂志编辑部

2025年4月