某高滑石型复杂铜钼矿选矿试验研究①

邓红，王星
（长沙有色冶金设计研究院有限公司，湖南 长沙 410019）

摘　要：对某高滑石型复杂铜钼矿进行了选矿试验研究，探索了预浮选脱除滑石与直接抑制滑石的工艺方案。结果表明，采用自来水预浮选时可以脱除大部分滑石，使用厂前回水预先浮选脱除滑石时，泡沫产品中铜和钼损失率高，无法实现易浮脉石矿物与铜钼矿物的分离；采用新型抑制剂 TCM-596，在回水条件下进行直接抑制滑石的浮选，滑石得到有效抑制，闭路试验可获得 Cu、Mo 回收率分别为 81.60%、63.95%的铜钼混合精矿，其中 MgO 含量为 2.43%，实现了该高滑石型铜钼矿的高效富集。

关键词：铜钼矿；滑石；抑制剂；浮选；回水利用；铜；钼
中图分类号：TD923　　**文献标志码**：A　　doi：10.3969/j.issn.0253-6099.2026.03.022
文章编号：0253-6099(2026)03-0160-05

Beneficiation Test of High-Talc Complex Copper-Molybdenum Ore

DENG Hong, WANG Xing
(*CINF Engineering Co., Ltd., Changsha* 410019, *Hunan*, *China*)

Abstract: Beneficiation tests were conducted on a high-talc complex copper-molybdenum ore. Two process schemes were explored, including pre-flotation for talc removal and direct talc depression. The results show that partial talc can be removed by pre-flotation with tap water, and pre-flotation with plant recycling water leads to high loss rates of copper and molybdenum in froth products, failing to separate easily floatable gangue minerals from copper-molybdenum minerals. By adopting a new depressant TCM-596 for direct talc depression in flotation with recycling water, a closed-circuit test produced a copper-molybdenum bulk concentrate with Cu recovery of 81.60%, Mo recovery of 63.95%, and MgO content of 2.43%. This indicates that talc is depressed and effectively separated from copper-molybdenum minerals, actualizing efficient enrichment of the high-talc copper-molybdenum ore.

Key words: copper-molybdenum ore; talc; depressant; flotation; recycling water utilization; copper; molybdenum

某斑岩与矽卡岩混合型特大铜钼矿位于南美安第斯山脉斑岩铜矿带上，投产以来，矿石中矽卡岩比例不断增加，易泥化的脉石矿物含量逐渐增加，具有一定天然可浮性的滑石含量不断提高，致使实际生产的铜精矿品位与回收率偏低。

滑石是一种典型的含镁层状硅酸盐矿物，其晶体是由两层硅氧四面体层与一层镁氧八面体层组成的夹心结构，结构单元层间为微弱的分子键，解离时分子键破裂，使其表面呈现非极性，从而具有较好的疏水性[1-2]。滑石对硫化铜钼矿物浮选的影响主要有两个方面：一是滑石的天然可浮性好，容易跟随浮选泡沫进入精矿，影响精矿品位；另一方面，滑石在碎磨过程中易泥化，易发生矿泥罩盖，附着于泡沫表面，致使浮选泡沫黏度增加，影响硫化铜钼矿物的正常上浮与分离[3]。

针对滑石影响硫化铜钼矿物浮选的问题，本文进行了试验研究，先后探索了预浮选脱除滑石与直接抑制滑石的工艺方案，从工艺流程的合理性与回水利用两个角度出发，最终确定了直接抑制滑石的工艺流程，实现了铜钼矿物的高效回收。

1　原矿性质

原矿主要化学成分分析结果如表 1 所示。由表 1 可以看出，该矿石中可回收的主要有价金属元素为铜、钼，可以综合回收的金属元素为银。矿石中需要通过浮选分离脱除的主要组分为 S、Fe、MgO、F 等，其中 S 品位高达 9.49%，说明矿石中含有大量的黄铁矿。

① **收稿日期**：2025-12-20
作者简介：邓红(1988—)，女，湖南娄底人，硕士，工程师，主要从事选矿工艺研究和矿山设计咨询工作。E-mail：denghongjiayou@163.com

表 1　原矿主要化学成分分析结果(质量分数)

Table 1　Main chemical composition of raw ore　　%

Cu	Ag[1)]	As	S	Fe	Mo	Zn	MgO	F
0.64	5.28	0.01	9.49	12.28	0.017 4	0.06	17.57	0.399

1) 单位为 g/t。

原矿矿物组成如表 2 所示。由表 2 可知,硫化铜矿物主要为黄铜矿,硫化钼矿物主要为辉钼矿,影响铜钼浮选的矿物主要有黄铁矿与多种层状硅酸盐矿物,如滑石、蛇纹石、绿泥石、云母等。其中,黄铁矿含量16.06%,具有天然可浮性的滑石含量 9.50%,两者均会严重影响铜钼矿物的浮选回收。

表 2　原矿矿物组成(质量分数)

Table 2　Mineral composition of raw ore　　%

石英	阳起石	黑云母	钾长石	长石	绿泥石	白云母	金云母	方解石
11.64	12.50	7.39	5.28	5.94	6.31	1.25	7.35	1.95
黄铁矿	磁铁矿	蛇纹石	黄铜矿	辉钼矿	滑石	蛭石	透辉石	
16.06	2.39	13.04	1.64	0.18	9.50	4.25	1.96	

2　试验研究

2.1　预浮选脱除滑石试验

2.1.1　自来水预浮选脱除滑石

滑石具有很好的天然可浮性,仅仅在矿浆中添加少量起泡剂就可预先浮选出大部分滑石[4]。若能控制滑石泡沫中损失的铜钼矿物,既可以大幅度减少后段滑石抑制剂的使用,又可以减少滑石对铜钼矿物浮选的干扰[5]。首先进行了自来水条件下预浮选脱除滑石的试验,试验流程如图 1 所示,试验结果见表 3。随着起泡剂 MIBC 用量增加,预浮选产出的泡沫产品中 MgO 含量先增大后减小,在 MIBC 用量 42 g/t 时,MgO 含量达到峰值。综合考虑铜和钼的损失,确定 MIBC 用量 42 g/t 为宜,此时泡沫产品产率为 13.54%,铜、钼损失率分别为 9.16%、12.79%,MgO 脱除率达到了 23.95%。

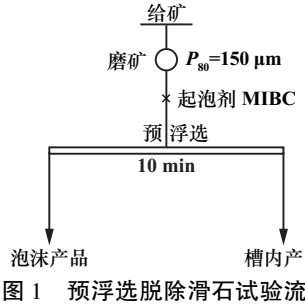


图 1　预浮选脱除滑石试验流程

Fig. 1　Flowchart of pre-flotation for talc removal

表 3　自来水预浮选脱除滑石起泡剂用量试验结果

Table 3　Test results of frother dosage in pre-flotation for talc removal

MIBC 用量/(g·t^{-1})	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Mo	MgO	Cu	Mo	MgO
30	泡沫产品	13.72	0.52	0.014 9	27.94	10.48	12.42	23.59
	槽内产品	86.28	0.70	0.016 7	14.39	89.52	87.58	76.41
	给矿	100.00	0.67	0.016 5	16.25	100.00	100.00	100.00
42	泡沫产品	13.54	0.46	0.014 8	29.31	9.16	12.79	23.95
	槽内产品	86.46	0.72	0.015 8	14.57	90.84	87.21	76.05
	给矿	100.00	0.68	0.015 7	16.57	100.00	100.00	100.00
54	泡沫产品	12.66	0.45	0.017 1	27.57	8.58	13.10	21.77
	槽内产品	87.34	0.70	0.016 4	14.37	91.42	86.90	78.23
	给矿	100.00	0.67	0.016 5	16.04	100.00	100.00	100.00
66	泡沫产品	12.98	0.42	0.016 2	27.55	8.51	14.04	21.91
	槽内产品	87.02	0.68	0.014 8	14.65	91.49	85.96	78.09
	给矿	100.00	0.65	0.015 0	16.32	100.00	100.00	100.00

MIBC 用量 42 g/t 时所得槽内产品矿物组成见表 4。预浮选槽内产品中滑石、蛇纹石含量分别降至 3.68%与 5.12%,说明预浮选可以脱除大部分滑石,但仍有部分滑石无法脱除,这可能是由于滑石与其他矿物嵌布紧密,未能有效解离。

表 4　槽内产品矿物组成(质量分数)

Table 4　Mineral composition of in-tank product　　%

滑石	蛇纹石	阳起石	黑云母	金云母	绿泥石
3.68	5.12	15.05	13.91	6.05	17.23
白云母	长石	蛭石	石英	磁铁矿	
4.90	4.85	3.48	10.73	3.53	

2.1.2　回水预浮选脱除滑石

在实际生产中,尾矿回水的循环利用是减少环境污染与节能降耗的必然要求,也是选矿厂的生产现状。为使试验条件与现场生产情况保持一致,采用现场生产的尾矿回水进行了预先浮选脱除滑石试验。由于生产现场采用铜硫高碱度浮选分离工艺,试验采用了现场的2 个批次回水,其 pH 值约为 12,电导率约为 3 000 μS/cm,回水中含有大量溶液离子组分。试验流程同图 1,其中 MIBC 用量为 42 g/t,回水对预浮选的影响见表 5。采用回水预先浮选脱除滑石时,泡沫产品产率达到 30%以上,泡沫产品中铜损失率 80%左右,钼损失率 90%以上,说明回水中残余的浮选药剂在预浮选过程中捕收了铜钼矿物,使大部分铜、钼矿物与脉石矿物一同上浮,不利于易浮脉石矿物与铜、钼矿物的浮选分离。

2.1.3　活性炭对回水预浮选的影响

为了消除回水中残余药剂对预先浮选产生的不利

表 5 回水对预浮选的影响

Table 5 Effect of recycling water on pre-flotation

回水批次	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Mo	MgO	Cu	Mo	MgO
第 1 批次	泡沫产品	44.02	1.19	0.033 8	16.44	88.34	94.66	42.20
	槽内产品	55.98	0.12	0.001 5	17.71	11.66	5.34	57.80
	给矿	100.00	0.60	0.015 7	17.15	100.00	100.00	100.00
第 2 批次	泡沫产品	32.61	1.48	0.065 5	21.82	78.35	93.38	40.86
	槽内产品	67.39	0.20	0.002 2	15.29	21.65	6.62	59.14
	给矿	100.00	0.62	0.022 9	17.42	100.00	100.00	100.00

影响,在磨矿中加入活性炭,按照图 1 所示流程,使用第 1 批次回水,研究了活性炭用量对回水预浮选的影响,结果见表 6。从表 6 可以看出,在磨矿中添加适量的活性炭可以略微降低泡沫产品中铜、钼的损失,但对易浮脉石矿物与铜钼矿物的浮选分离没有明显的促进,大量的铜、钼矿物仍跟随泡沫上浮。

表 6 活性炭用量对回水预浮选的影响

Table 6 Effect of activated carbon dosage on pre-flotation with recycling water

活性炭用量/(g·t^{-1})	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Mo	MgO	Cu	Mo	MgO
100	泡沫产品	36.76	1.46	0.046 5	18.12	84.65	92.79	37.94
	槽内产品	63.24	0.15	0.002 1	17.23	15.35	7.21	62.06
	给矿	100.00	0.63	0.018 4	17.56	100.00	100.00	100.00
200	泡沫产品	32.76	1.57	0.055 9	18.83	81.62	90.67	35.24
	槽内产品	67.24	0.17	0.002 8	16.85	18.38	9.33	64.76
	给矿	100.00	0.63	0.020 2	17.50	100.00	100.00	100.00
300	泡沫产品	25.90	1.84	0.055 9	19.08	77.36	91.57	28.45
	槽内产品	74.10	0.19	0.001 8	16.78	22.64	8.43	71.55
	给矿	100.00	0.62	0.015 8	17.38	100.00	100.00	100.00

2.1.4 小结

预先浮选脱除滑石方案中,采用自来水进行磨矿、浮选时,可以脱除矿浆中大部分滑石与蛇纹石矿物,铜钼在泡沫产品中的损失在 10%左右;采用厂前回水进行磨矿、浮选时,由于回水含有大量的残余药剂,预先浮选脱除的泡沫产品产率大幅增加,损失的铜、钼矿物也大幅增加,未能实现易浮脉石矿物与铜钼矿物的分离。

2.2 直接抑制滑石试验研究

采用直接抑制滑石试验方案的重点任务是开发与应用高效的含镁层状硅酸盐矿物抑制剂,常用的抑制剂有瓜尔胶、CMC、木质素磺酸钠等[6-7]。

目前,低滑石型硫化铜钼矿生产中使用的浮选流程为混合粗选+精选,通常在磨矿中加入 CaO 以抑制黄铁矿,粗选中使用 PAX 与 FLOTTEC(生产现场使用的捕收剂)作为铜钼矿物捕收剂回收铜钼矿物[8-9]。对于本次试验的高滑石型铜钼矿物,矿石中除滑石外,还含有蛇纹石、绿泥石等其他镁硅酸盐脉石矿物,为防止其他镁硅酸盐脉石矿物吸附滑石抑制剂,影响滑石与铜钼矿物的分离,考虑在粗精矿的精选作业中添加抑制剂来抑制滑石,进行滑石与铜钼矿物的分离。

试验中固定捕收剂、起泡剂与石灰用量,采用图 2 所示流程进行浮选试验,抑制剂种类试验结果如表 7 所示。其中 TCM-596 为自主研发的新型组合抑制剂,含有羟基、羧基等官能团。从表 7 可知,TCM-596 对滑石的选择性抑制能力较强,精矿中铜、钼回收率及品位较高,表明 TCM-596 能够选择性吸附在滑石表面,改变滑石疏水性,抑制滑石,从而实现滑石与铜钼矿物的有效分离。

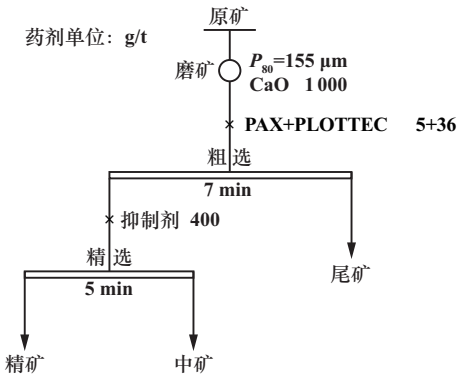


图 2 直接抑制滑石试验流程

Fig. 2 Flowchart of direct talc depression

表 7 直接抑制滑石抑制剂种类试验结果

Table 7 Test results of depressant types of direct talc depression

抑制剂种类	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Mo	MgO	Cu	Mo	MgO
瓜尔胶	精矿	19.56	2.41	0.012	2.56	79.22	12.35	2.96
	中矿	10.90	0.56	0.140	25.75	10.26	80.32	16.56
	尾矿	69.54	0.09	0.002	19.61	10.52	7.33	80.48
	原矿	100.00	0.60	0.019	16.94	100.00	100.00	100.00
CMC	精矿	19.87	2.45	0.030	3.56	80.66	29.22	4.18
	中矿	10.88	0.50	0.120	25.07	9.01	63.99	16.13
	尾矿	69.25	0.09	0.002	19.46	10.33	6.79	79.69
	原矿	100.00	0.60	0.020	16.91	100.00	100.00	100.00
TCM-596	精矿	19.89	2.42	0.06	3.89	80.89	60.01	4.55
	中矿	10.95	0.47	0.06	25.18	8.65	33.04	16.22
	尾矿	69.16	0.09	0.002	19.48	10.46	6.95	79.23
	原矿	100.00	0.60	0.020	17.00	100.00	100.00	100.00
木质素磺酸钠	精矿	24.75	1.96	0.05	8.09	81.38	62.35	11.73
	中矿	6.09	0.80	0.10	25.90	8.17	30.68	9.24
	尾矿	69.16	0.09	0.002	19.50	10.45	6.97	79.03
	原矿	100.00	0.60	0.020	17.07	100.00	100.00	100.00

相同条件下,进行了 TCM-596 用量试验,结果见表 8。由表 8 可知,随着 TCM-596 用量逐渐增加,精矿中铜品位逐渐提高,钼品位小幅波动,铜、钼回收率均呈降低趋势。综合考虑,TCM-596 用量 500 g/t 为宜,

此时铜和钼回收率分别达到 80.74%和 69.96%,精矿中 MgO 含量仅3.37%,大部分滑石得以脱除。

表 8　TCM-596 用量试验结果

Table 8　Test results of TCM-596 dosage

TCM-596 用量/(g·t^{-1})	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Mo	MgO	Cu	Mo	MgO
300	精矿	22.38	2.26	0.07	8.56	84.30	73.74	11.29
	中矿	8.39	0.38	0.05	20.10	5.31	19.75	9.94
	尾矿	69.23	0.09	0.002	19.30	10.39	6.51	78.77
	原矿	100.00	0.60	0.021	16.96	100.00	100.00	100.00
400	精矿	19.89	2.42	0.06	3.89	80.89	60.01	4.55
	中矿	10.95	0.47	0.06	25.18	8.65	33.04	16.22
	尾矿	69.16	0.09	0.002	19.48	10.46	6.95	79.23
	原矿	100.00	0.60	0.020	17.00	100.00	100.00	100.00
500	精矿	19.18	2.52	0.07	2.98	80.74	69.96	3.37
	中矿	10.92	0.48	0.04	25.98	8.76	22.76	16.73
	尾矿	69.90	0.09	0.002	19.38	10.50	7.28	79.90
	原矿	100.00	0.60	0.019	16.96	100.00	100.00	100.00
600	精矿	19.34	2.48	0.05	2.87	80.78	47.67	3.26
	中矿	11.54	0.45	0.08	26.06	8.75	45.51	17.66
	尾矿	69.12	0.09	0.002	19.48	10.47	6.82	79.08
	原矿	100.00	0.59	0.020	17.03	100.00	100.00	100.00

2.3　闭路浮选试验

为验证以 TCM-596 为滑石抑制剂直接抑制滑石的方案在高滑石型铜钼矿实际生产中的效果,结合矿山现场生产流程和常规斑岩型铜矿生产中采用的粗选+精选+扫选+粗精矿再磨+精选流程[10-11],采取 114 号罐回水开展了闭路浮选试验,结果见表 9,闭路浮选试验流程见图 3。试验所用回水 pH 值为 12.6,电导率为3 180 μS/cm。结果表明,在一段磨矿细度 P_{80} 为 155 μm,二段磨矿细度 P_{80} 为 60 μm 条件下,采用 PAX、FLOTTEC 组合及 ADM(主要官能团为二硫代氨基磷酸盐)为捕收剂,TCM-596、CaO、Na_2SO_3、乳化柴油等为抑制剂或调整剂,对 Cu、Mo 品位分别为 0.62%、0.018 0%,MgO 含量为 17.17%的高滑石型铜钼矿,可以获得 Cu、Mo 品位分别为 22.80%、0.516 1%,Cu、Mo 回收率分别为 81.60%、63.95%的铜钼混合精矿,其中 MgO 含量为 2.43%,说明滑石已经得到抑制并实现了其与铜钼矿物的有效分离,同时实现了铜钼有用矿物的综合回收,证实以 TCM-596 为抑制剂直接抑制滑石,能够实现高滑石型铜钼矿的高效富集。

表 9　闭路浮选试验结果

Table 9　Closed-circuit flotation test results

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Cu	Mo	MgO	Cu	Mo	MgO
精矿	2.23	22.80	0.516 1	2.43	81.60	63.95	0.32
尾矿 1	60.50	0.09	0.001 6	18.93	8.46	5.39	66.70
尾矿 2	21.27	0.10	0.017 1	24.59	3.46	20.24	30.46
尾矿 3	16.00	0.25	0.011 7	2.71	6.48	10.42	2.52
原矿	100.00	0.62	0.018 0	17.17	100.00	100.00	100.00

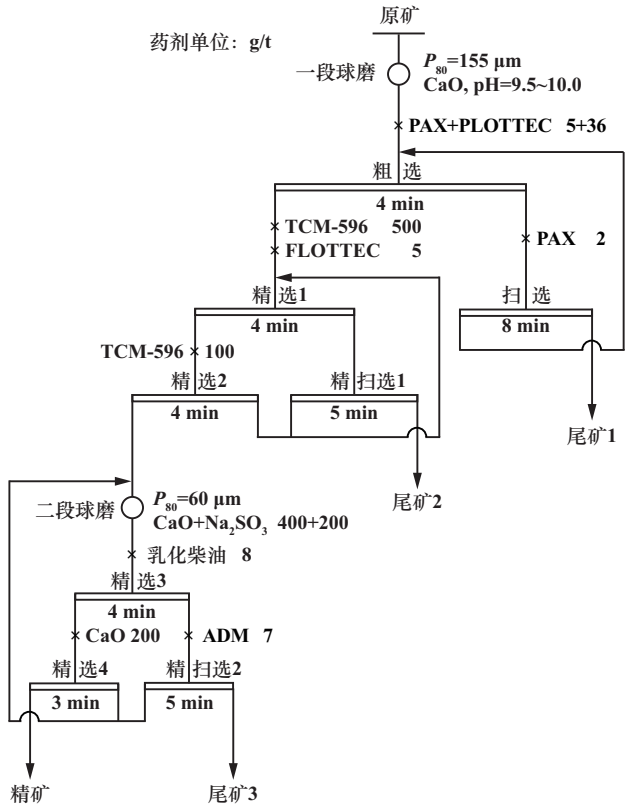


图 3　闭路浮选试验流程

Fig. 3　Closed-circuit flotation flowchart

3　结论

1) 某高滑石型铜钼矿,有价元素主要为铜、钼,其品位分别为 0.64%、0.017 4%;MgO 含量为 17.57%。硫化铜矿物主要为黄铜矿,硫化钼矿物主要为辉钼矿,影响铜钼浮选的脉石矿物主要有黄铁矿与滑石、蛇纹石等。

2) 采用预先浮选脱除滑石方案,以自来水进行磨矿-浮选时,可以脱除矿浆中大部分滑石;以厂前回水进行磨矿-浮选时,回水中残留的药剂导致泡沫中损失的铜、钼矿物大幅增加,无法实现滑石与铜钼矿物的分离。

3) 采用直接抑制滑石方案,使用回水,以 TCM-596 为抑制剂,闭路试验获得了 Cu、Mo 品位分别为 22.80%、0.516 1%,Cu、Mo 回收率分别为 81.60%、63.95%的铜钼混合精矿,铜钼混合精矿中 MgO 含量为 2.43%,实现了高滑石型斑岩型铜钼矿的高效富集。

参考文献(References):

[1]　环艳,魏志聪,谢海云,等. 典型镁硅酸盐类脉石矿物的浮选抑制

研究进展[J]. 有色金属(选矿部分), 2025(1):33-47.
HUAN Yan, WEI Zhicong, XIE Haiyun, et al. Research progress on flotation depression of typical magnesium silicate gangue minerals[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2025(1):33-47.

[2] 刘栖巧,车宇航,陈伟,等. 辉钼矿与滑石浮选药剂研究进展[J]. 金属矿山, 2024(2):56-68.
LIU Qiqiao, CHE Yuhang, CHEN Wei, et al. Research progress in the flotation reagent of molybdenite and talc[J]. Metal Mine, 2024(2):56-68.

[3] 陈帆帆,郑灿辉,卜显忠. 快速浮选分离滑石与辉钼矿动力学研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(5):70-74.
CHEN Fanfan, ZHENG Canhui, BU Xianzhong. Flotation kinetics study for efficient separation of talc and molybdenite by flash flotation[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(5):70-74.

[4] 吴奕彤,焦芬,魏茜,等. 低品位高滑石型钼矿高效分离工艺研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):43-46.
WU Yitong, JIAO Fen, WEI Qian, et al. Efficient separation process for low-grade high-talc molybdenum ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(2):43-46.

[5] 杨东. 反浮选提升铜精矿品质的研究与实践[J]. 世界有色金属, 2020(9):54-55.
YANG Dong. Research and practice of improving copper concentrate quality by reverse flotation[J]. World Nonferrous Metals, 2020(9):54-55.

[6] 陆夏羿,吴志强,陈建华,等. 滑石表面多糖类抑制剂作用机理的密度泛函理论和分子动力学研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2024,55(12):4431-4441.
LU Xiayi, WU Zhiqiang, CHEN Jianhua, et al. Density functional theory and molecular dynamics studies on mechanism of polysaccharide depressants on talc surface[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2024,55(12):4431-4441.

[7] 孙立田,陈旭波,陈雁南,等. 瓜尔胶对秘鲁特罗莫克铜矿中滑石的抑制效果评价[J]. 石油化工应用, 2018,37(7):61-65.
SUN Litian, CHEN Xubo, CHEN Yannan, et al. Evaluation of the inhibitory effect of guar gum on talc in tromoke copper mine in Peru[J]. Petrochemical Industry Application, 2018,37(7):61-65.

[8] 肖舜元. 白钨选矿回水在高滑石钼矿选矿中的应用研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(6):55-58.
XIAO Shunyuan. Recycling of scheelite beneficiation backwater in flotation of high talc type molybdenum ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2020,40(6):55-58.

[9] 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.

[10] 刘呈祥,宗巴. 斑岩型铜钼矿矿石性质及选矿工艺优化研究[J]. 世界有色金属, 2024(15):100-102.
LIU Chengxiang, ZONG Ba. Study on ore properties and beneficiation process optimization of porphyry copper-molybdenum ore[J]. World Nonferrous Metals, 2024(15):100-102.

[11] 刘春龙. 多宝山铜钼矿铜钼分离工艺优化研究[J]. 福建冶金, 2019,48(1):1-4.
LIU Chunlong. Study on optimization of copper-molybdenum separation technology on Duobaoshan copper and molybdenum ore[J]. Fujian Metallurgy, 2019,48(1):1-4.

引用本文:邓红,王星. 某高滑石型复杂铜钼矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2026,46(3):160-164.
DENG Hong, WANG Xing. Beneficiation test of high-talc complex copper-molybdenum ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(3):160-164.

(上接第159页)

[6] 陈月强,伍磊,黄桦. 基于改进Transformer模型的短期风电功率预测[J]. 电工技术, 2024(22):24-28.
CHEN Yueqiang, WU Lei, HUANG Hua. Modified transformer model-based short-term power forecasting of wind generations[J]. Electric Engineering, 2024(22):24-28.

[7] 邓长久. 干式磁选机智能控制系统的设计与应用[D]. 岳阳:湖南理工学院, 2024.
DENG Changjiu. Design and application of intelligent control system for dry magnetic separator[D]. Yueyang: Hunan Institute of Science and Technology, 2024.

[8] TANG D D, WANG F W, DAI H X, et al. Influence of separation chamber shape in dry magnetic separator on the dispersion and separation of multiple magnetites[J]. Minerals Engineering, 2021, 171: 107130.

[9] LI H X, ZHOU E H, SHEN L, et al. Dynamical characteristics and vibration behavior of the novel composite dry separator[J]. Vibroengineering Procedia, 2022,40:1-6.

[10] 陈泽生,周敏,冯李春,等. 基于XGBoost和粒子群优化算法的DGA恶意域名识别[J]. 通信学报, 2024,45(增刊2):27-32.
CHEN Zesheng, ZHOU Min, FENG Lichun, et al. DGA malicious domain name identification based on XGBoost and particle swarm optimization algorithm[J]. Journal on Communications, 2024,45(S2):27-32.

[11] 王若晨,钟汉斌. 基于Transformer的生物质流化床快速热解瞬时流率预测[J]. 当代化工研究, 2024(22):49-51.
WANG Ruochen, ZHONG Hanbin. Predicting instantaneous mass flow rates of biomass fast pyrolysis in a fluidized bed by transformer[J]. Modern Chemical Research, 2024(22):49-51.

[12] 刘文胜,荣娜,李宏伟,等. 基于SCSC-Swin Transformer的电力系统暂态稳定预测方法[J]. 电子测量技术, 2024,47(22):120-128.
LIU Wensheng, RONG Na, LI Hongwei, et al. Power system transient stability prediction method based on SCSC-Swin Transformer[J]. Electronic Measurement Technology, 2024,47(22):120-128.

引用本文:谢家豪,刘洋,马崇振,等. 基于干式磁选机的钛铁矿分选关键指标预测[J]. 矿冶工程, 2026,46(3):156-159.
XIE Jiahao, LIU Yang, MA Chongzhen, et al. Prediction of key indices of ilmenite separation based on dry magnetic separator[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(3):156-159.