

引文格式:陈晨,王俊娥,匡晨,等. 氨浸渣处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2025, 54(2): 75–83.

CHEN Chen, WANG Jun'e, KUANG Chen, et al. Treatment process of ammonia leaching residue[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2025, 54(2): 75–83.

氨浸渣处理工艺研究

陈晨^{1,2}, 王俊娥^{1,2}, 匡晨^{1,2}, 董凯伟^{1,2}, 薛祥^{1,2}, 吴星琳^{1,2}

(1. 低品位难处理黄金资源综合利用国家重点实验室, 福建 厦门 361101;

2. 厦门紫金矿冶技术有限公司, 福建 厦门 361101)

[摘要] 为了优化钼冶炼二次氨浸渣处理工艺,提高生产效益,本文考察了常压氢氧化钠+碳酸钠浸出、氧压碳酸钠浸出、低温加压氢氧化钠+碳酸钠浸出三种方案处理氨浸渣的浸出效果及经济效益,得到以下主要结论。氨浸渣中钼形态主要为 6.73% 的氧化钼、0.67% 的钼酸盐、0.36% 的硫化钼,采用氧压浸出可以缩短浸出时间,提高钼浸出率;三种方案在优化工艺条件下的钼浸出率分别为 91.70%、97.22%、94.21%,渣含钼分别为 0.89%、0.265%、0.60%,氧压碳酸钠浸出方案指标最优;该方案的优化工艺参数为碳酸钠 50 g/L、液固比 L/S=4、温度 210 ℃、氧压 0.5 MPa、搅拌浸出时间 1 h,此条件下,处理 1 t 氨浸渣运行成本为 1 441 元,利润为 3.73 万元,可以弥补与其他两种方案对比的设备投资成本差额。氧压碳酸钠浸出方案具有钼回收率高、药剂消耗少、浸出杂质低和经济效益显著等优点,为含钼氨浸渣处理提供了参考。

[关键词] 钼冶炼;氨浸渣;常压氢氧化钠+碳酸钠浸出;低温加压氢氧化钠+碳酸钠浸出;氧压碳酸钠浸出

[中图分类号] [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2025)02-0075-09

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2025.02.008

钼在自然界中分布广泛,属于过渡金属元素,具有强度高、硬度高、导电性好和热稳定性好等优点,广泛应用于冶金、军事、化工、机械加工、电子电气和农业生产等领域,其中约 88% 应用在冶金工业中,主要用于生产钼铁合金^[1-3]。

钼的原生矿石主要以辉钼矿为主,辉钼矿冶炼生产钼酸铵的经典工艺为“氧化焙烧脱硫-钼焙砂预浸-三段氨浸-硫化除杂-酸沉-转型烘干”,产物以二/四钼酸铵为主,然而该工艺产出的氨浸渣通常钼含量在 5%~20%,需要进一步处理^[4-5]。氨浸渣中残留的钼主要以三氧化钼、二氧化钼、钼酸盐、硫化钼等形式存在,处理方法主要包括火法焙烧、常压浸出和加压氧浸。①火法焙烧:将碳酸钠、氧化

剂、氨浸渣按一定比例混匀后,放到炉子中加热至 700~750 ℃,使钼反应生成钼酸钠,再经过水浸进入溶液中,该方法投资较大,能耗较高^[6];②常压浸出:主要用盐酸分解氨浸渣,钼以 MoO_2Cl_2 的形式浸出到溶液里,或调控 pH 值使其以钼酸的形式留在渣中,再以氨水进行浸出,该方法需要引入盐酸,对设备耐腐蚀性要求高^[7-8];③加压氧浸:主要以氧气作为氧化剂,以氢氧化钠或氨水调控 pH 值,采用碳酸钠进行浸出,该方法钼浸出率高、但投资较大^[9-10]。

为匹配钼酸铵生产经典工艺,考虑生产实际,简化氨浸渣处理,本文主要采用常压氢氧化钠+碳酸钠浸出、氧压碳酸钠浸出和低温加压氢氧化钠+碳酸钠浸出,比较了三种工艺的优缺点,分析了工艺经济性和适用性,为钼冶炼企业处理氨浸渣提供新的方案。

[收稿日期] 2024-11-12 [修订日期] 2024-12-15

[录用日期] 2024-12-18 [出版日期] 2025-04-01

[第一作者] 陈晨(1995—),男,硕士,工程师,主要从事稀贵金属提取方面的研究工作。

1 试验介绍

1.1 原料及药剂

原料来源于黑龙江某钼冶炼企业生产的氨浸

渣,成分(干基)分析见表1,氨浸渣充分洗涤后的化学物相分析见表2,XRD 分析见图1。

表 1 氨浸渣成分(质量百分比)

Table 1 Composition of ammonia leaching residue (mass percent) %

成分	Mo	Cu	Fe	Ca	Pb	S	Mg	Zn	Au *	Ag *	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量	8.94	0.38	28.65	0.90	0.58	0.12	0.57	0.02	32.58	486.40	25.46	3.72

注:“*”元素单位为 g/t。

试验用到的药剂为碳酸钠(AR)和氢氧化钠(AR),均购置于西陇科学股份有限公司。

表 2 氨浸渣化学物相分析

Table 2 Chemical phase analysis of ammonia leaching residue

成分	氧化钼	难溶性钼酸盐	硫化钼	含钼成分合计
质量占比/%	6.73	0.67	0.36	7.76
钼成分占比/%	86.73	8.63	4.64	100

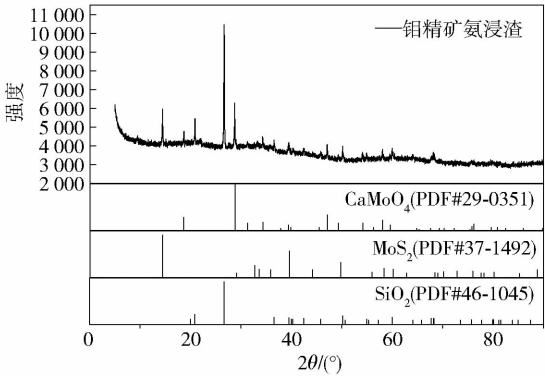


图 1 氨浸渣 XRD 分析

Fig.1 XRD analysis of ammonia leaching residue

由表1可知,氨浸渣中 Mo 含量约 8.94%、Au 32.58 g/t、Ag 486.4 g/t、Fe 28.65%,以及少量的 Cu、Ca、Pb、Mg、Zn,而 S 含量仅有 0.12%;表2中的化学物相分析表明,氨浸渣中钼的形式主要包括氧化钼 6.73%、难溶性钼酸盐 0.67%、硫化钼 0.36%,合计为 7.76%,洗涤前总钼为 8.94%,表明可溶性钼酸盐为 1.18%,其中氧化钼占有所有钼中的 86.73%。由图1可以看出,氨浸渣中物相组成主要有硫化钼、钼酸钙和脉石,其中主要的氧化钼由于结

晶性较差,XRD 中无对应的峰,这也可能是其难以在常压下被氨浸的主要原因;而硫化钼和钼酸盐尽管含量低,但由于主物相氧化钼晶型较差,其表现出了较为明显的峰。

1.2 试验设备

设备:电热恒温水浴、高压釜、抽滤机、精密搅拌设备、干燥箱、天平等,具体信息如表3所示。

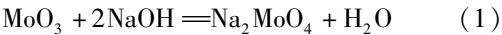
表 3 设备信息

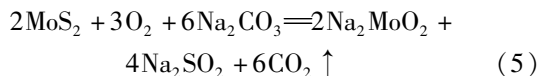
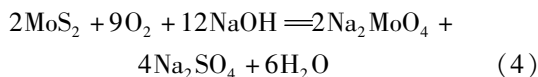
Table 3 Equipment information

设备	型号	厂商
电热恒温水浴锅	HH-M2	江苏新春兰科学仪器有限公司
高压釜	GSHA-2	威海鑫泰化工机械有限公司
精密搅拌设备	JJ-1	国华(常州)仪器制造有限公司
抽滤机	SHZ-D(Ⅲ)	巩义市予华仪器有限责任公司
干燥箱	DHG-90970Y	上海精宏实验设备有限公司
天平	YP6001	上海精其仪器有限公司

1.3 试验原理

常压浸出方法最简易,但药剂过量系数高,钼浸出率相对较低。加压氧浸可以增加反应动力学并氧化残留硫化钼,药剂耗量低,钼浸出率高,但设备投资成本高,能耗高。鉴于原料中残留硫化钼较少,且现场无制氧条件,为进一步降低加压成本,提出了仅通过加压(不通氧气)来提高浸出温度的工艺。根据浸出结果对三种工艺经济性进行对比,最终筛选出最佳方案。常压浸出的药剂主要为氢氧化钠和碳酸钠,其中氢氧化钠主要用于浸出氧化钼、碳酸钠主要用于钼酸盐的转化;加压浸出药剂主要是碳酸钠。涉及的主要反应见式(1)~(5)。





1.4 试验方案及方法

1) 常压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出。取一定量烘干后的氨浸渣置于烧杯中, 然后加入一定量的水、氢氧化钠和碳酸钠, 搅拌浸出结束后, 液固分离, 渣采用清水洗净后烘干, 渣样和水样分别送检。进行单因素试验, 考察氢氧化钠浓度、碳酸钠浓度、液固比、反应温度、浸出时间对钼浸出的影响, 选择钼浸出率较高且工艺成本较低参数为最佳参数。在获得较高钼浸出率的参数后, 对浸液中的杂质进行分析, 进一步优化参数, 在尽量不降低钼浸出率的情况下, 减少硅杂质的浸出, 最终获得浸出最佳参数。

2) 氧压碳酸钠浸出, 取一定量烘干后的氨浸渣置于高压反应釜中, 加入一定量的水、氢氧化钠和碳酸钠, 通入氧气, 开启搅拌并升温, 升温到指定温度后开始计时, 反应过程中每隔 20 min 排一次气(主要排二氧化碳); 浸出结束后, 取出矿浆进行液固分离, 浸出渣采用清水洗净后烘干, 渣样和水样分别送检。进行单因素试验, 考察氢氧化钠浓度、碳酸钠浓度、液固比、反应温度、氧压对钼浸出的影响, 其中氧压采用总压和饱和蒸汽压来控制, 选择钼浸出率较高且工艺成本较低参数为最佳参数。

3) 低温加压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出(降成本试验)。在获取最高钼浸出率的加压参数后, 为进一步降低加压成本, 且适应现场生产条件(无制氧站), 在常压浸出的条件基础上, 仅采用加压来提高浸出温度, 考察浸出结果。

最后对比以上三种方案经济效益, 选出最佳方案。

2 结果与讨论

2.1 常压浸出

2.1.1 氢氧化钠的影响

以温度 95 ℃、L/S = 4(液固比, 单位 mL/g, 下同)、未添加碳酸钠和双氧水、浸出时间 2 h 为初始条件, 改变氢氧化钠用量, 考察氢氧化钠对氨浸渣中 Mo 浸出效果的影响, 结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 钼浸出率随着氢氧化钠用量的增

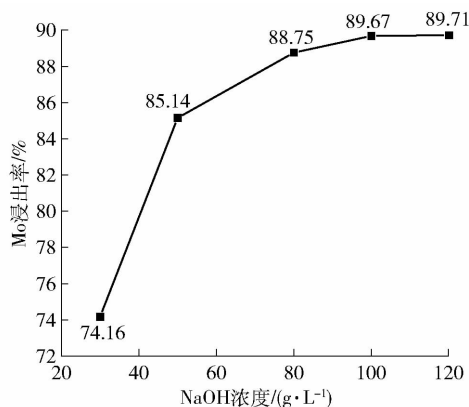


图 2 不同氢氧化钠用量下的浸出结果

Fig. 2 Leaching results under different sodium hydroxide dosages

加而增加, 当氢氧化钠用量为 100 g/L 时, 钼浸出率最高, 达到 89.67%, 继续增加氢氧化钠用量时, 钼的浸出率无明显变化, 因此选择最佳氢氧化钠浓度为 100 g/L。

2.1.2 碳酸钠的影响

以温度 95 ℃、L/S = 4、未添加氢氧化钠、浸出时间 2 h 为初始条件, 加入不同量碳酸钠, 考察其对氨浸渣浸出效果的影响, 结果如图 3 所示。

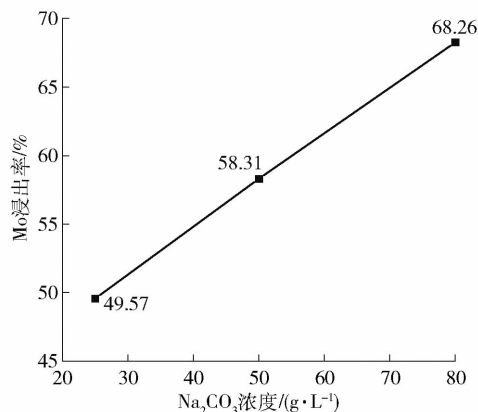


图 3 碳酸钠浸出结果

Fig. 3 Leaching results using sodium carbonate

由图 3 可知, 当碳酸钠用量 80 g/L(约理论量 3 倍)时, 钼浸出率仅有 68.26%, 如果碳酸钠过量很多, 药剂成本大幅增加, 且不利于后续酸沉。为了进一步提高钼浸出率, 继续开展“氢氧化钠 + 碳酸钠”常压浸出试验。

2.1.3 “氢氧化钠 + 碳酸钠”的影响

以氢氧化钠 100 g/L、温度 95 ℃、L/S = 4、浸出

时间 2 h 为基础条件,加入不同量的碳酸钠,考察碳酸钠用量对氨浸渣浸出效果的影响,结果如图 4 所示。

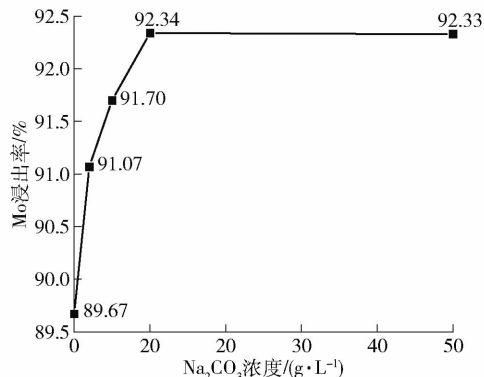


图 4 不同碳酸钠用量下的浸出结果

Fig. 4 Leaching results with different sodium carbonate dosages

由图 4 可知,随着碳酸钠用量的增加,钼浸出率升高,当碳酸钠用量为 10 g/L 时,与无碳酸钠加入相比,钼的浸出率从 89.67% 增加到 92.34%,继续增加碳酸钠用量,浸出率变化不明显,因此 10 g/L 碳酸钠用量最佳。

2.1.4 液固比的影响

以氢氧化钠 100 g/L、碳酸钠 10 g/L、温度 95 ℃、浸出时间 2 h 为基础条件,维持药剂浓度不变,考察液固比对氨浸渣浸出效果的影响,结果如图 5 所示。

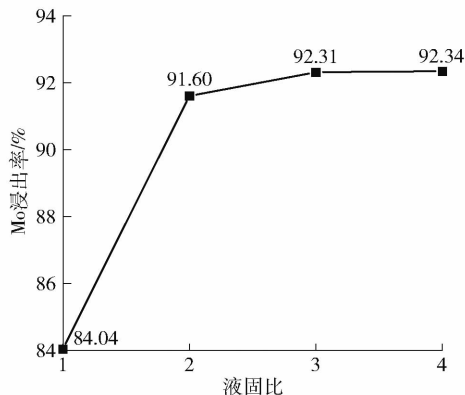


图 5 不同液固比下的浸出结果

Fig. 5 Leaching results under different liquid-to-solid ratios

由图 5 可知,液固比由 1 增至 4,钼浸出率先增加后趋于平缓。在液固比从 1 增加至 2 时,钼浸出

率增长迅速,从 84.04% 增至 91.6%;继续增加液固比,钼浸出率增加不明显。考虑药剂成本,选择液固比为 2 较优。

2.1.5 反应温度的影响

以氢氧化钠 100 g/L、碳酸钠 10 g/L、L/S=2、浸出时间 2 h 为基础条件,考察温度对氨浸渣浸出效果的影响,结果如图 6 所示。

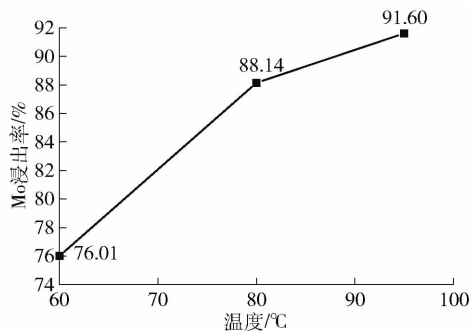


图 6 不同温度下的浸出结果

Fig. 6 Leaching results at different temperatures

从图 6 中可以看出,随着温度升高,钼的浸出率逐渐提高,当温度为 95 ℃ 时,钼浸出率可达 91.60%,但此时浸出液中硅和杂质含量太高,且硅与钼形成杂多酸,严重影响后续酸沉回收钼,基于此,需开展降硅优化试验。

2.1.6 降硅优化试验

该试验的目的是在不降低钼浸出率的条件下降低硅浸出。由于硅的浸出主要和氢氧化钠浓度关系较大,因此尝试降低氢氧化钠浓度,但为保证钼的浸出,需要适当提高碳酸钠的浓度。基于此,选择在温度 95 ℃、L/S=2 的基础条件下,降低 NaOH 用量至 80 g/L、碳酸钠用量提升至 20 g/L,浸出时间分别为 1 h 和 2 h,钼及杂质浸出结果见表 4。

由表 4 可知,相同浸出时间下,NaOH 用量由 100 g/L 降低至 80 g/L,碳酸钠用量由 10 g/L 提高至 20 g/L,钼浸出率略微降低,降为 91.13%;但此时溶液中的硅含量降幅明显,分析认为碱度降低,脉石成分浸出减少。而继续缩短浸出时间至 1 h,钼浸出率降低明显,不符合生产要求。因此,常压浸出优化条件为温度 95 ℃、液固比 L/S=2、80 g/L NaOH、20 g/L Na₂CO₃、浸出时间 2 h;在此条件下开展两组平行试验,验证结果稳定性,结果如表 5 所示。

由表 5 可知,在最佳常压浸出条件下,钼浸出率可达 91.70%,渣含钼降低至 0.87%,渣中金、银含

表 4 降硅优化浸出结果

Table 4 Optimized leaching results for silicon reduction

NaOH 用量/ (g·L ⁻¹)	碳酸钠用量/ (g·L ⁻¹)	浸出 时间/h	浸出液成分/(g·L ⁻¹)					浸出渣成分/%		Mo 浸出 率/%
			Mo	P	As	Si	Al	渣率	Mo	
100	10	2	40.06	0.18	0.30	3.73	1.29	85.58	0.82	91.60
80	20	2	42.97	0.32	0.36	1.37	1.27	85.63	0.85	91.13
80	20	1	36.07	0.23	0.29	0.59	1.96	86.26	1.36	86.14

表 5 平行试验结果

Table 5 Parallel experimental results

试验编号	浸出液成分/(g·L ⁻¹)					渣率及成分				Mo 浸出 率/%
	Mo	P	As	Si	Al	渣率/%	Mo/%	Au/(g·L ⁻¹)	Ag/(g·L ⁻¹)	
No. 1	39.67	0.22	0.30	1.29	1.18	85.66	0.86	38.10	565.85	91.76
No. 2	40.12	0.29	0.26	1.36	1.22	85.03	0.88	38.54	571.05	91.63
平均	39.90	0.26	0.28	1.33	1.20	85.45	0.87	38.32	568.45	91.70

量进一步富集至 38.32 g/t 和 568.45 g/t; 溶液中 Mo、P、As、Si、Al 的含量分别为 39.9 g/L、0.26 g/L、0.28 g/L、1.33 g/L 和 1.20 g/L。

2.2 加压浸出

由于常压浸出渣中仍然残留 0.87% 的 Mo, 其中有一部分为硫化钼, 且常压药剂耗量高, 为进一步增加钼浸出率, 因此采用加压浸出回收氨浸渣中的 Mo。

2.2.1 氢氧化钠的影响

以温度 210 ℃、氧压 0.5 MPa、L/S = 4、无碳酸钠添加、浸出时间 1 h 为初始条件, 考察氢氧化钠用量对氨浸渣浸出效果的影响, 结果如图 7 所示。

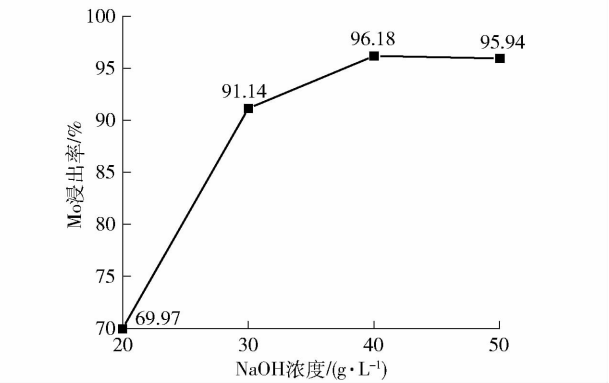


图 7 不同氢氧化钠用量下浸出结果
Fig. 7 Leaching results under different sodium hydroxide dosages

由图 7 可知, 随着氢氧化钠用量的增加, 钼浸出

率上升。当氢氧化钠用量为 40 g/L 时, 钼浸出率最高, 达到 96.18%。

2.2.2 碳酸钠的影响

以温度 210 ℃、氧压 0.5 MPa、L/S = 4、无氢氧化钠添加、浸出时间 1 h 为初始条件, 考察碳酸钠用量对氨浸渣浸出效果的影响, 结果如图 8 所示。

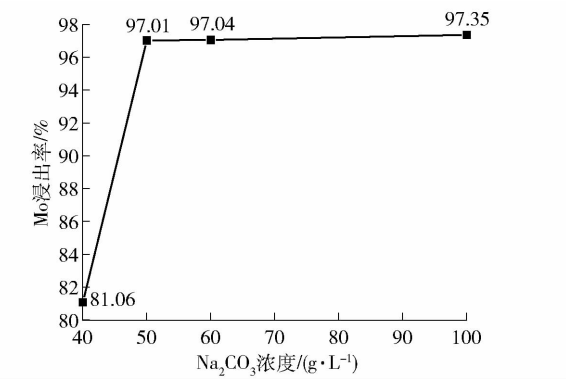


图 8 不同碳酸钠用量下浸出结果
Fig. 8 Leaching results under different sodium carbonate dosages

由图 8 可知, 随着碳酸钠用量的增加, 钼浸出率先上升后趋于平缓。当碳酸钠浓度为 50 g/L 时, 钼浸出率达到 97.01%, 用量继续升高钼浸出率变化不大, 因此选择碳酸钠添加量为 50 g/L。该条件与 40 g/L 氢氧化钠浸出相比, 钼浸出率更高且药剂成本更低, 氧压浸出条件下选择碳酸钠作为主要药剂较优。

2.2.3 反应温度的影响

以 50 g/L 碳酸钠、L/S = 4、氧压 0.5 MPa、浸出时间 1 h 为基础条件,考察温度对钼浸渣浸出效果的影响,结果如图 9 所示。

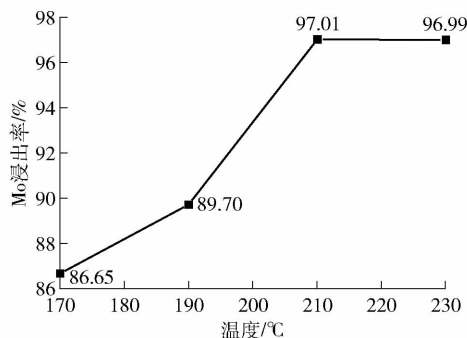


图 9 不同温度下浸出结果

Fig. 9 Leaching results at different temperatures

由图 9 可知,随着温度升高,钼浸出率增加,当温度为 210 °C 时,钼浸出率最高为 97.01%,因此选择最佳温度为 210 °C。

2.2.4 氧压的影响

以温度 210 °C、50 g/L 碳酸钠、L/S = 4、浸出时间 1 h 为基础条件,考察氧压对钼浸渣浸出效果的影响,结果如图 10 所示。

由图 10 可知,随着氧压的增加,钼浸出率先增加后趋于平缓。当氧压为 0.5 MPa 时,钼浸出率达到 97.01%;继续增加氧压钼浸出率变化不明显。综合考虑,选择氧压为 0.5 MPa 较优。

2.2.5 液固比的影响

为了增加高压釜的处理能力,以温度 210 °C、50 g/L 碳酸钠、氧压 0.5 MPa、浸出时间 1 h 为基础条件,考察液固比变化对钼浸出率的影响,结果如图 11 所示。

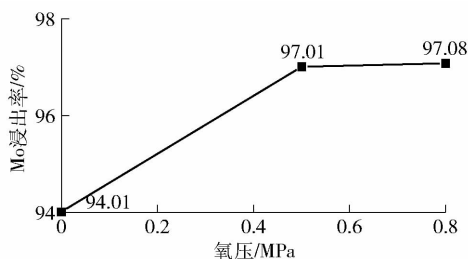


图 10 不同氧压下浸出结果

Fig. 10 Leaching results under different oxygen pressures

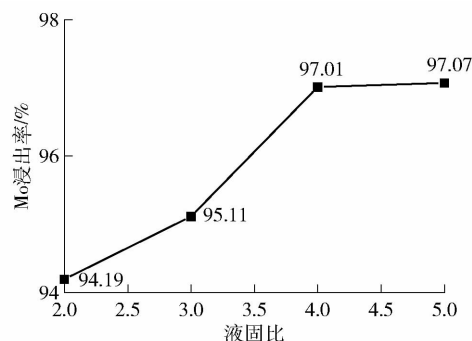


图 11 不同液固比下浸出结果

Fig. 11 Leaching results under different liquid-to-solid ratios

由图 11 可知,随着液固比的增加,钼浸出率先增加后趋于平缓。当液固比为 4 时,钼浸出率达到 97.01%;继续增加液固比,钼浸出率变化不大。综合考虑,选择液固比为 4 较优。

综上,氧压浸出优化条件为 50 g/L Na_2CO_3 、液固比 L/S = 4、温度 210 °C、氧压 0.5 MPa、浸出时间 1 h。在此条件下,取 250 g 钼浸渣开展平行试验,验证工艺稳定性,结果如表 6 所示。

表 6 平行试验结果

Table 6 Parallel experimental results

试验编号	浸出液成分/(g·L ⁻¹)					渣率及成分				Mo 浸出率/%
	Mo	P	As	Si	Al	渣率/%	Mo/%	Au/(g·t ⁻¹)	Ag/(g·t ⁻¹)	
No. 3	19.46	0.032	0.15	0.34	0.56	82.80	0.25	42.83	589.32	97.36
No. 4	19.06	0.015	0.11	0.31	0.59	83.55	0.28	42.58	586.50	97.08
平均	19.26	0.024	0.13	0.33	0.575	83.18	0.27	42.71	587.91	97.22

由表 6 可知,在优化氧压试验条件下,钼浸出率可达 97.22%,渣率为 83.18%,渣含钼降至 0.27%,

渣中 Au 可富集到 42.71 g/t, Ag 可富集到 587.91 g/t, 溶液中 Mo、P、As、Si、Al 分别为 19.26 g/L、0.024

g/L、0.13 g/L、0.33 g/L、0.575 g/L。

2.2.6 降成本优化试验

考虑到有些小规模生产厂没有制氧站,通氧条件无法保证,且维持高压釜高温运转所需电耗成本较高,因此开展了降成本优化试验,在 80 g/L NaOH + 20 g/L Na₂CO₃、液固比 L/S = 2、不通氧、浸出时间 1 h 条件下,采用密闭高压釜浸出氨浸渣,主要考察了温度的影响,试验结果如图 12 所示。

由图 12 可知,采用常压浸出的最佳药剂条件(80 g/L NaOH + 20 g/L Na₂CO₃),在 140 ~ 160 ℃ 密闭高压釜中开展不通氧碱浸,随着温度升高,钼浸出率增加,当温度为 150 ℃ 时,钼浸出率为 94.21%,继续升高温度钼浸出率变化不大,因此,选择适宜的浸出温度为 150 ℃。

在 80 g/LNaOH + 20 g/L Na₂CO₃、液固比 L/S = 2、温度 150 ℃、不通氧、浸出时间 1 h 条件下开展平

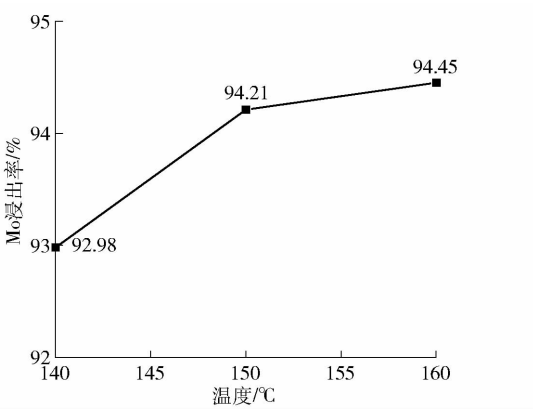


图 12 降成本优化浸出结果

Fig. 12 Cost-reducing optimization leaching results

行试验,结果如表 7 所示。

表 7 平行试验结果

Table 7 Parallel experimental results

试验编号	浸液成分/(g·L ⁻¹)					渣成分				Mo 浸出率/%
	Mo	P	As	Si	Al	渣率/%	Mo/%	Au/(g·t ⁻¹)	Ag/(g·t ⁻¹)	
No. 5	36.41	0.08	0.33	1.21	1.32	86.21	0.61	42.27	553.62	94.13
No. 6	36.35	0.08	0.35	1.34	1.25	85.81	0.59	38.41	561.31	94.35
平均	36.38	0.08	0.34	1.275	1.285	86.01	0.60	40.34	557.465	94.24

如表 7 所示,在 80 g/L NaOH + 20 g/L Na₂CO₃、液固比 L/S = 2、温度 150 ℃、不通氧、浸出时间 1 h 条件下,钼浸出率可达到 94.24%,渣率为 86.01%,渣含钼为 0.60%,渣中 Au 可富集到 40.34 g/t,Ag 可富集到 557.465 g/t,溶液中 Mo、P、As、Si、Al 分别为 36.38 g/L、0.08 g/L、0.34 g/L、1.275 g/L、1.285 g/L。

2.3 主要技术经济指标

根据上述优化浸出结果,形成了三种浸出方案:常压氢氧化钠浸出;氧压碳酸钠浸出;低温加压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出。药剂耗量按试验实际消耗,加

压温度采用电加热,通过 Metcal 计算加热耗能,常压温度采用蒸汽加热,不计成本,所有搅拌电机耗电不计。则三种方案工艺参数指标和运行成本见表 8 和表 9。

按表 8 和表 9 数据,以钼酸钠售价 20 万元/t 计算上述三种方案处理 1 t 氨浸渣经济效益。在扣除运行成本后,三种方案分别可创造利润为 3.52 万元/t、3.73 万元/t、3.62 万元/t,以每年处理 1 000 t 氨浸渣计,三种方案分别每年可创造利润 3 520 万元/年、3 730 万元/年、3 620 万元/年,其中氧压碳

表 8 方案对比

Table 8 Comparison of schemes

方案	NaOH/(g·L ⁻¹)	Na ₂ CO ₃ /(g·L ⁻¹)	液固比/(mL·g ⁻¹)	温度/℃	氧压/MPa	浸出时间/h	浸出率/%
常压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出	80	20	2:1	95	0	2	91.70
氧压碳酸钠浸出	0	50	4:1	210	0.5	1	97.22
低温加压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出	80	20	2:1	150	0	1	94.24

表9 1 t 氨浸渣浸出成本

Table 9 Leaching cost for one ton of ammonia residue

方案	药剂及耗能	用量	单价	成本
常压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出	氢氧化钠	160.00 kg	3 900.00 元/t	624.00 元
	碳酸钠	40.00 kg	2 700.00 元/t	108.00 元
	电耗(加热)	采用生产现场蒸汽加热		0 元
				合计 732 元
氧压碳酸钠浸出	碳酸钠	200.00 kg	2 700.00 元/t	540.00 元
	电耗(加热)	890.00 kWh	1.00 元/度	890.00 元
	电耗(制氧)	11.00 kWh	1.00 元/度	11.00 元
				合计 1 441 元
低温加压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出	碳酸钠	40.00 kg	2 700.00 元/t	108.00 元
	氢氧化钠	160.00 kg	3 900.00 元/t	624.00 元
	电耗(加热)	296.38 kWh	1.00 元/度	296.38 元
				合计 1 028.38 元

酸钠浸出年利润最高,高出其他两种方案 110 ~ 210 万元/年,可弥补加压设备投资成本,因此最佳方案为氧压碳酸钠浸出。

3 总结

本文考察了常压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出、氧压碳酸钠浸出、低温加压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出三种方案处理氨浸渣的浸出效果及经济效益,得到以下主要结论。

1)常压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出方案的优化工艺参数为液固比 L/S = 2、氢氧化钠 80 g/L + 碳酸钠 20 g/L、温度 95 ℃、搅拌浸出时间 2 h;此条件下,钼浸出率为 91.70%,渣含钼为 0.89%;该工艺处理 1 t 氨浸渣运行成本为 732 元,利润为 3.52 万元。

2)低温加压氢氧化钠 + 碳酸钠浸出方案的优化工艺参数为温度 150 ℃、不通氧、液固比 L/S = 2、80 g/L 氢氧化钠 + 20 g/L 碳酸钠、搅拌浸出时间 1 h,此条件下,渣中钼含量为 0.6%,钼浸出率为 94.21%;该工艺处理 1 t 氨浸渣运行成本为 1 028.38 元,利润为 3.62 万元。

3)氧压碳酸钠浸出方案的优化工艺参数为碳酸钠 50 g/L、液固比 L/S = 4、温度 210 ℃、氧压 0.5 MPa、搅拌浸出时间 1 h,此条件下,钼浸出率为 97.22%,渣含钼降低到 0.265%;该工艺处理 1 t 氨浸渣运行成本为 1 441 元,利润最高为 3.73 万元;此方案浸出指标最好,效益最高,为最佳方案。

[参考文献]

[1] 解兴锋,周军,赵新瑞. 氨浸渣对钼酸铵回收率影响分析[J]. 有色金属:冶炼部分,2007(4): 24-26.
XIE Xingfeng, ZHOU Jun, ZAO Xinrui. The influence of ammonia leaching residue on the recovery of ammonium molybdate [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2007(4): 24-26.

[2] 王鹏飞. 钼焙砂氨浸渣中钼的回收工艺研究[D]. 西安建筑科技大学,2020.
WANG Pengfei. Recovery molybdenum from the residue is produced in the ammonia leaching process of molybdenum calcined [D]. Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.

[3] 张亮,杨卉芃,冯安生,等. 全球钼矿资源现状及市场分析[J]. 矿产综合利用, 2019(3): 11-16.
ZHANG Liang, YANG Huipeng, FENG Ansheng, et al. Study on general situation and analysis of supply and demand of global molybdenum resource [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3): 11-16.

[4] 伍赠玲,石仑雷. 低品位钼精矿热压碱浸—浮选工艺回收钼试验[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019(7): 54-57.
WU Zengling, SHI Lunlei. Recovery of low-grade molybdenum concentrate by alkali pressure oxidation and flotation process[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2019(7): 54-57.

[5] 卜春阳,曹维成,王璐,等. 辉钼矿冶炼工艺综述及展望[J]. 中国钼业, 2017, 41(6): 5-7.
BU Chunyang, CAO Weicheng, WANG Lu, et al. Overview and prospect for the smelting process of molybdenite [J]. China Molybdenum Industry, 2017, 41(6): 5-7.

[6] 史兴元. 利用钼酸铋渣生产钼酸钠的研究[J]. 中国钼业, 1998, 22(4): 91-92.
SHI Xingyuan. Study of production of sodium molybdate from

- ammonium molybdate dregs [J]. China Molybdenum Industry, 1998, 22(4): 91–92.
- [7] 冯宝奇, 郭金亮, 马高峰, 等. 降低氨浸渣中钼含量的研究 [J]. 中国钼业, 2013, 37(3): 6–8.
FENG Baoqi, GUO Jinliang, MA Gaofeng, et al. Research on reduction of molybdenum content in ammonia leaching residues [J]. China Molybdenum Industry, 2013, 37(3): 6–8.
- [8] 施友富, 张邦胜. 钼酸铵生产系统三废治理过程中的钼回收 [J]. 有色金属, 2003, 55(3): 65–67.
SHI Youfu, ZHANG Bangsheng. Molybdenum recovery from wastes of ammonium molybdate production [J]. Nonferrous Metals, 2003, 55(3): 65–67.
- [9] 施友富, 王淑芳. 氨浸钼渣氧压碱浸工艺研究 [J]. 中国钼业, 2012, 36(1): 38–40.
SHI Youfu, WANG Shufang. Recovery of molybdenum from ammonia leaching residue by pressure leaching [J]. China Molybdenum Industry, 2012, 36(1): 38–40.
- [10] 沈裕军, 杨文魁, 公彦兵, 等. 碱性加压浸出三次氨浸渣中钼的实验研究 [J]. 矿冶工程, 2011, 31(4): 73–76.
SHEN Yujun, YANG Wenkui, GONG Yanbing, et al. Experimental study on alkaline pressure leaching of molybdenum from ammonia leach residues [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2011, 31(4): 73–76.

Treatment process of ammonia leaching residue

CHEN Chen^{1,2}, WANG Jun'e^{1,2}, KUANG Chen^{1,2}, DONG Kaiwei^{1,2}, XUE Xiang^{1,2}, WU Xinglin^{1,2}

(1. State Key laboratory of Comprehensive Utilization of Low-Grade Refractory Gold Ores, Xiamen 361101, China;

2. Xiamen Zijin Mining and Technology Co., Ltd., Xiamen 361101, China)

Abstract: To optimize the treatment process of secondary ammonia leaching residue from molybdenum smelting and enhance production efficiency, this study investigated the leaching efficiency and economic benefits of three treatment schemes for ammonia leaching residue: atmospheric NaOH + Na₂CO₃ leaching, oxygen-pressure Na₂CO₃ leaching, and low-temperature pressurized NaOH + Na₂CO₃ leaching. The following key conclusions were obtained. The molybdenum species in the ammonia leaching residue primarily consist of 6.73% molybdenum oxide, 0.67% molybdate, and 0.36% molybdenum sulfide. Oxygen-pressure leaching significantly shortens the leaching time and improves molybdenum recovery. Under optimized conditions, the molybdenum leaching efficiencies for the three schemes were 91.70%, 97.22%, and 94.21%, with residual molybdenum contents of 0.89%, 0.265%, and 0.60%, respectively. The oxygen-pressure Na₂CO₃ leaching scheme demonstrated the best performance. Its optimized parameters include a Na₂CO₃ concentration of 50 g/L, liquid-to-solid ratio (L/S) of 4, temperature of 210 °C, oxygen pressure of 0.5 MPa, and leaching duration of 1 h. Under these conditions, the operating cost for treating 1 ton of ammonia leaching residue is 1 441 RMB, with a profit of 37 300 RMB, which offsets the higher initial equipment investment compared to the other two schemes. The oxygen-pressure Na₂CO₃ leaching method offers advantages such as high molybdenum recovery, low reagent consumption, minimal impurity leaching, and significant economic benefits, providing a valuable reference for the treatment of molybdenum-containing ammonia leaching residues.

Key words: molybdenum smelting; ammonia leaching residue; atmospheric NaOH + Na₂CO₃ leaching; low-temperature pressurized NaOH + Na₂CO₃ leaching; oxygen-pressure Na₂CO₃ leaching