

多金属复杂铜阳极泥氧压酸浸预处理工艺

李俊, 周兆安, 刘小文, 孙雁军, 许国洪, 毛谕章, 周爱青

(广东飞南资源利用股份有限公司, 广东 肇庆 526233)

摘要: 研究了氧压酸浸法从多金属复杂铜阳极泥中脱除铜镍富集高值金属。考查了反应温度、硫酸浓度、L/S、搅拌速度、氧分压和反应时间等因素对铜镍脱除效果的影响。结果表明, 在较优条件下: 阳极泥 30.0 g, 1.5 mol/L 硫酸溶液 300 mL, L/S=10(mL:g), 反应温度 160 ℃, 氧分压 0.2 MPa, 搅拌速度 600 r/min 和浸出时间 3 h, Cu、Ni 的浸出率分别达到 99.26% 和 95.36%, 返回电解净化系统回收铜镍, 而 Sb 和 Bi 的浸出率分别为 1.33% 和 0.59%, Sn 几乎未被浸出, 高值金属 (Sn、Sb、Bi 和贵金属等) 富集了近 2.7 倍。

关键词: 铜阳极泥; 脱铜镍; 氧压酸浸; 富集贵金属; 预处理

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.02.022

中图分类号: TD982 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2025) 02-0160-05

引用格式: 李俊, 周兆安, 刘小文, 等. 多金属复杂铜阳极泥氧压酸浸预处理工艺[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(2): 160-164+170.

LI Jun, ZHOU Zhaoan, LIU Xiaowen, et al. Pretreatment process of polymetallic complex copper anode slime by oxygen pressure acid leaching[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(2): 160-164+170.

铜电解阳极泥因制备铜阳极板的原料不同, 其组成差异较大^[1]; 从电镀污泥、铜烟灰、废杂铜、线路板铜粉等物料回收铜生产电解铜过程产生的阳极泥^[2], 含有较高的铜、镍、锑、锡、铋和砷等元素以及微量的贵金属^[3], 因原料来源较复杂且不稳定, 其成分和物理化学性质也相对不固定; 回收贵金属前需要脱除铜镍铅锑铋等贱金属^[4]。该类阳极泥铜镍总含量基本大于 30%, 对外销售时因铜镍含量高, 导致其他高值金属 (如锡、锑、铋和贵金属等, 下同) 计价系数低, 且铜镍元素基本不计价 (或计价系数极低), 因此, 开展多金属复杂阳极泥的提铜镍预处理十分必要, 以进一步富集高值金属、回收铜镍, 实现增值利用。

目前, 国内有许多铜电解阳极泥的预脱铜镍研究报道, 一般而言, 常规的硫酸浸出难以达到较好的预处理效果, 需要进行强化浸出。预脱铜镍的强化工艺主要有焙烧+酸浸法^[5]、臭氧强化法^[6]、

硝酸浸出法^[7]、氯化催化浸出法^[8]以及加压氧化浸出法^[9-10]等, 工艺选择因原料组成、后续有价金属回收工艺等差异适应性不同。本实验目的基于阳极泥中 Cu、Ni 浸出率皆达 95% 而高值金属基本不被浸出, 因此进行了强酸浸出、氧化酸浸、加压氧化酸浸等方法探索, 最终选用加压氧化酸浸工艺, 制得硫酸铜、硫酸镍溶液, 返回原电解净化系统回收铜镍, 浸出渣经过进一步富集高值金属, 高质利用。

1 实验

1.1 实验原料与试剂

本文所用原料为江西某企业从电镀污泥、废杂铜等含铜物料综合利用过程中产生的铜阳极泥, 经烘干破碎细磨后过筛 (-0.080 mm), 其主要成分见表 1, 铜镍总含量近 40%, 贵金属采用火试金富集-火焰原子吸收法测定^[11]。

收稿日期: 2022-04-20

作者简介: 李俊 (1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事冶金研究。

通信作者: 周兆安 (1987-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为冶金工程。

表 1 阳极泥的主要化学成分/%

Table 1 Main chemical composition of anode slime

As	Cu	Fe	Ni	Sb	Sn	Bi	Pb	S	Au*	Ag*	Pd*
4.82	26.22	0.16	13.13	8.03	1.53	5.16	2.96	3.27	436.5	27060	203

*单位为g/t。

其他试剂：实验过程中其他试剂均采用分析纯，水采用蒸馏水，氧气采用工业纯氧。

1.2 实验设备

YZPR-500(M) 微型反应器；SHZ-D(III) 型循环水真空泵；DZF-9070A 电热鼓风干燥箱；Agilent 5100 ICP-OES 型电感耦合等离子体发射光谱仪。

1.3 实验方法

阳极泥的酸性氧压浸出实验是在一个 500 mL 的高压反应釜（微型反应器）中进行，首先量取一定体积特定浓度的硫酸溶液，倒入装有特定重

量阳极泥的聚四氟乙烯罐中，并置于高压反应釜中进行浸出反应；反应釜升至指定温度，再通入一定分压的工业纯氧，待达到要求的反应时间后，停止浸出反应；采用真空抽滤方式过滤和淋洗，过滤得到滤液和滤渣，滤液量体积再经稀释后用 ICP 测定各主要元素的含量，滤渣经烘干后称重后测定化学组成；最后，计算各主要元素的浸出率。

2 实验结果与讨论

2.1 探索实验

实验进行了常规水洗、酸洗、高酸浸出（含氧化浸出）、盐酸浸出、硝酸浸出及加压氧化浸出等探索，主要实验结果见表 2。

表 2 不同探索实验的主要元素浸出率情况

Table 2 Leaching rate of main elements on different exploratory tests

工艺条件	浸出率/%				
	As	Cu	Ni	Sb	Sn
水洗，60 ℃，L/S=5（mL:g），0.5 h，水浴400 r/min	1.24	18.09	1.68	0.06	<0.000 33
酸洗，硫酸0.5 mol/L，60 ℃，L/S=5（mL:g），0.5 h，水浴400 r/min	42.49	39.09	2.20	0.33	<0.000 51
30%硫酸浸出，L/S=100（mL:g），电炉煮沸1 h	86.83	70.44	42.19	43.71	59.48
30%硫酸+双氧水，L/S=100（mL:g），电炉煮沸1 h，中间加过量双氧水	85.27	94.32	46.00	5.23	49.02
30%硫酸+浓硝酸，L/S=100（mL:g），电炉煮沸1 h，中间加过量浓硝酸	87.97	94.58	51.71	15.57	52.94
盐酸溶解，L/S=100（mL:g），电炉煮沸1 h	13.49	84.13	81.80	27.65	62.75
硝酸溶解，L/S=100（mL:g），电炉煮沸1 h	88.17	69.64	21.78	7.47	9.80
加压氧化浸出，160 ℃，0.2 MPa氧分压，500 r/min，3 h，L/S=30（mL:g）	88.60	99.88	99.81	1.46	5.35

以上探索实验结果表明常规酸浸和酸性氧化浸出均难以同时实现对铜镍的良好浸出，但加压氧化浸出对铜镍浸出具有显著效果，故此进行加压氧化浸出实验研究，寻求适宜的浸出参数。

2.2 加压氧化酸浸实验

为了获得氧压酸性浸出工艺的较佳反应条件，本文研究了反应温度、硫酸浓度、L/S、搅拌速度、氧分压和反应时间等因素对酸性氧化浸出工艺的影响。

2.2.1 反应温度对主要元素浸出率的影响

浸出条件：L/S=30(mL:g)，浸出液 300 mL，硫酸浓度=3 mol/L，搅拌速度 500 r/min，反应时间 3 h，氧气分压 0.2 MPa，进行反应温度条件实验对阳极泥氧压酸浸过程中各主要元素浸出效果的影响，结果见图 1。反应温度为 100、120、

130、140、150 和 160 ℃ 时，酸浸产渣率分别为 53.60%、47.60%、39.60%、33.40%、29.60% 和 31.70%。

图 1 和产渣率结果表明，随着反应温度的升高，As、Cu、Ni 的浸出率显著增加，Cu 浸出率在 140 ℃ 时达 99%，而后变化不大；Ni 浸出率在 140 ℃ 时达到 91.4%，而后随着温度升高浸出率缓慢增加；Sb、Sn、Bi 浸出率随温度升高的变化范围波动较大，在 130 ℃ 和 150 ℃ 浸出率低，140 ℃ 时数据稍有升高。综上选择反应温度为 150 ℃ 较适宜，此时浸出渣含铜仅 0.28%，含镍仅 0.44%，产渣率为 29.60%，此时贵金属可富集约 3.37 倍。

2.2.2 酸浓度对主要元素浸出率的影响

浸出条件：L/S=30(mL:g)，浸出液 300 mL，反应温度 150 ℃，搅拌速度 500 r/min，反应时间

3 h, 氧气分压 0.2 MPa, 考查酸浓度对阳极泥氧压酸浸过程中各主要元素浸出效果的影响, 结果见图 2。反应硫酸浓度为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mol/L 时, 酸浸产渣率分别为 36.40%、33.40%、36.60%、33.40%、31.40%。

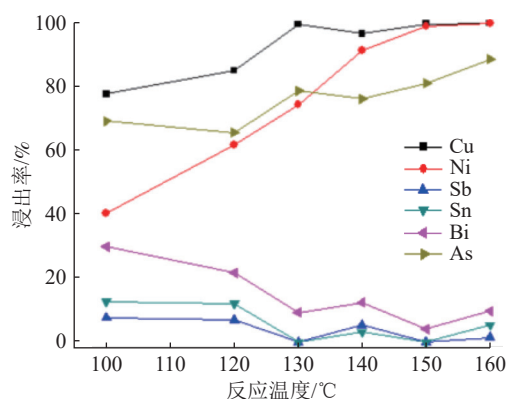


图 1 反应温度对各主要元素浸出率的影响

Fig.1 Effect of reaction temperature on main elements leaching efficiency

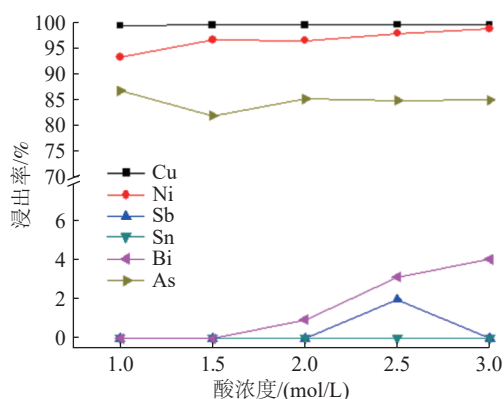


图 2 硫酸浓度对各主要元素浸出率的影响

Fig.2 Effect of sulfuric acid concentration on main elements leaching efficiency

图 2 结果表明, 随着浸出液硫酸浓度的增加, 对 As、Cu、Ni 等的浸出率影响不太大, 尤其是当酸浓度达到 1.5 mol/L 之后; 而 Bi、Sb 浸出率则随硫酸浓度变化呈升高趋势; 产渣率在 31.40%~36.60% 之间波动, 因此, 从试剂用量及浸出效果看, 酸浓度选择 1.5 mol/L 即可, 此时铜镍浸出率分别为 99.66% 和 96.77%, 浸出渣含铜仅 0.27%, 含镍 1.27%, 贵金属富集了大约 3 倍。

2.2.3 液固比 L/S 对主要元素浸出率的影响

浸出条件: 反应温度 150 °C, 浸出液 300 mL, 硫酸浓度=1.5 mol/L, 搅拌速度 500 r/min, 反应时间 3 h, 氧气分压 0.2 MPa, 考查液固比 L/S 对阳

极泥氧压酸浸过程中各主要元素浸出效果的影响, 结果见图 3。反应液固比 L/S 为 5、6、10、15、20、30 时, 酸浸产渣率分别为 40.57%、44.92%、38.53%、37.70%、44.80%、33.40%。

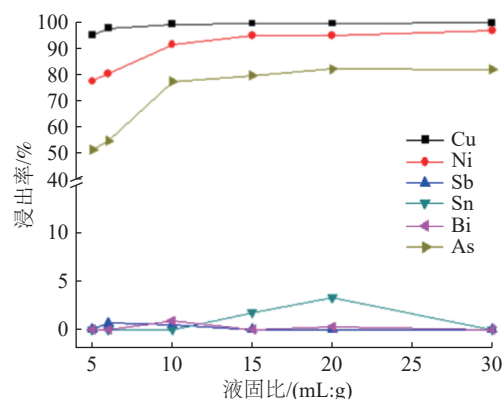


图 3 液固比 L/S 对各主要元素浸出率的影响

Fig.3 Effect of liquid-solid ratio on main elements leaching efficiencies

由图 3 结果可知, 随着液固比的升高, As、Cu、Ni 浸出率随液固比增加呈增加趋势, 其中 Cu 浸出率在液固比=10(mL:g) 时达 99% 以上, 而后变化不大; Ni 浸出率在液固比=10(mL:g) 时达 91%, 此后随着固液比的升高浸出率略有增加; Sb、Sn、Bi 仅很少或几乎不被浸出, 主要留在渣中; 产渣率在 33.40%~44.92% 之间波动, 从浸出效率、成本及效果等因素综合考虑, 选择液固比=10(mL:g) 较适宜, 此时铜镍浸出率分别为 99.25% 和 91.55%, 渣含铜 0.51%, 含镍 2.88%, 产渣率 38.53%, 贵金属约富集了 2.6 倍。

2.2.4 搅拌速度对主要元素浸出率的影响

浸出条件: L/S=10(mL:g), 浸出液 300 mL, 硫酸浓度=1.5 mol/L, 反应温度 150 °C, 反应时间 3 h, 氧气分压 0.2 MPa, 考查搅拌速度对阳极泥氧压酸浸过程中各主要元素浸出效果的影响, 结果见图 4。搅拌速度为 400、500、600、700 r/min 时, 酸浸产渣率分别为 40.20%、38.53%、38.80%、38.80%。

图 4 实验结果表明, 当搅拌速度在 500 r/min 以上, As、Cu 浸出率变化不大, 其中 Cu 浸出率可达 99%; Ni 浸出率随着搅拌速度增加先增加后降低, 在 600 r/min 时达到较高浸出率, 达 95.36%; Sb、Sn、Bi 随搅拌速度变化不大, 基本不被浸出; 且产渣率在搅拌速度 500~700 r/min 间变化不大, 因此搅拌速度选 600 r/min 较为合适。

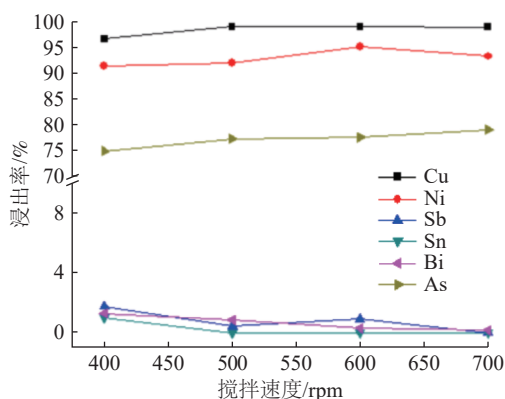


图4 搅拌速度对各主要元素浸出率的影响
Fig.4 Effect of stirring speed on main elements leaching efficiencies

2.2.5 氧分压对主要元素浸出率的影响

浸出条件：L/S=10(mL:g)，浸出液 300 mL，硫酸浓度=1.5 mol/L，搅拌速度 600 r/min，反应时间 3 h，反应温度 150 ℃，考查氧分压对阳极泥氧压酸浸过程中各主要元素浸出效果的影响，结果见图 5。氧分压为 0、0.1、0.2、0.3、0.4 MPa 时，酸浸产渣率分别为 51.20%、39.13%、38.80%、37.47%、39.13%。

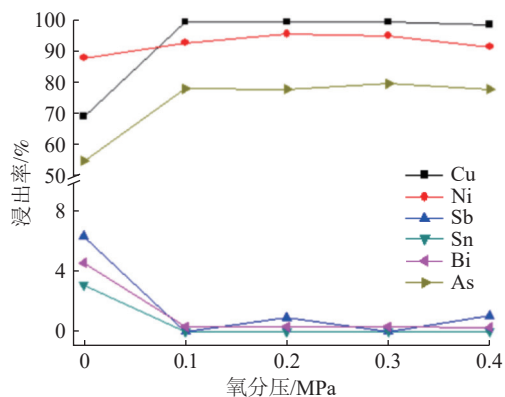


图5 氧分压对各主要元素浸出率的影响
Fig.5 Effect of oxygen partial pressure on main elements leaching efficiencies

图 5 结果表明，氧气对各主要元素的浸出反应影响显著，不加氧压时 Cu、Ni 浸出率不高，Sb、Sn、Bi 略有浸出，产渣率高；通氧后铜镍浸出率显著升高，产渣率变化不大，而 Sb、Sn、Bi 浸出率整体呈下降趋势；通氧气浸出时，氧分压增加，对 As 浸出率影响不大，Cu 浸出率基本在 99%，氧分压 0.4 MPa 时，Cu 浸出率略有降低；Ni 随着氧分压的增加，浸出率先增加后降低。因此氧分压为 0.2 MPa 较适宜。

2.2.6 反应时间对主要元素浸出率的影响

浸出条件：L/S=10(mL:g)，浸出液 300 mL，

硫酸浓度=1.5 mol/L，搅拌速度 600 r/min，反应温度 150 ℃，氧气分压 0.2 MPa，考查反应时间对阳极泥氧压酸浸过程中各主要元素浸出效果的影响，结果见图 6。反应时间为 1、2、3、4 h 时，酸浸产渣率分别为 43.20%、39.47%、38.80%、37.13%。

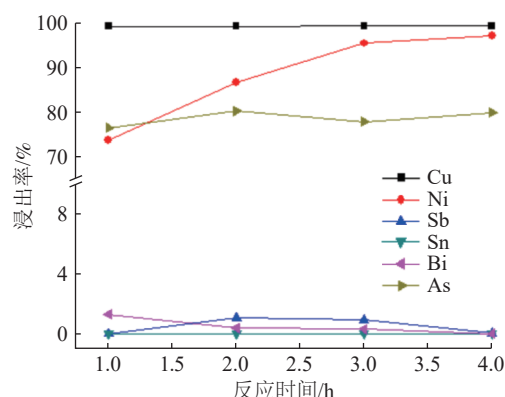


图6 反应时间对各主要元素浸出率的影响
Fig.6 Effect of reaction time on main elements leaching efficiencies

图 6 结果表明，随着反应时间的增加，产渣率呈下降趋势，As 的浸出率呈小幅波动，Cu 浸出率无明显变化，Ni 的浸出率显著增加，而 Sb、Sn、Bi 基本不被浸出。数据表明 As、Cu 的浸出反应较迅速，反应时间 1 h 基本已经完成，而有一部分 Ni 的浸出速度相对较慢，表现为其浸出率从反应 1 h 的 73.61% 提升到反应 4 h 的 97.12%。综合从能耗及效率等角度综合考虑，反应时间选择 3 h 较合适，此时，产渣率为 38.80%，渣含铜 0.5%，含镍 1.57%，稀贵金属富集了大约 2.7 倍。

2.2.7 优化条件实验结果

通过单因素实验确定较佳工艺条件为：阳极泥 30.0 g，硫酸浓度 1.5 mol/L，L/S=10 (mL:g)，反应温度 160 ℃，搅拌速度 600 r/min 和反应时间 3 h，氧分压 0.2 MPa。浸出液、浸出渣结果分别见表 3、4。

表 3 浸出液组成情况/(g/L)
Table 3 Composition of leaching solution

Cu	As	Ni	Fe	Sn	Sb	Bi
28.28	3.74	13.58	0.072	<0.000 01	0.074	0.015

表 3 浸出液中以铜镍为主，锡、锑、铋等较少，可返回铜镍萃取分离系统制得硫酸铜溶液和产品硫酸镍，此时铜镍浸出率分别为 99.26% 和 95.36%，Sb 和 Bi 的浸出率分别为 1.33%、0.59%，

Sn 几乎不被浸出；表 4 浸出渣中，以锑、铋、铅、锡为主，渣含铜镍分别为 0.5%、1.57%，高值金属（锡、锑、铋和贵金属等）富集了近 2.7 倍，达到预期效果。

表 4 浸出渣的主要化学成分/%

Table 4 Main chemical composition of anode slime

As	Cu	Fe	Ni	Sb	Sn	Bi	Pb	Au*	Ag*	Pd*
2.83	0.5	0.42	1.57	20.42	3.92	13.60	7.95	1153.1	73250	552

*单位为g/t。

3 结 论

(1) 实验证明采用加压氧化酸性浸出脱除多金属复杂阳极泥中的铜镍并富集高值金属（锡锑铋及贵金属等）是可行的，且该工艺简单、有效。

(2) 通过单因素实验，得出加压氧化酸性浸出法的优化工艺条件为：阳极泥 30.0 g，硫酸浓度 1.5 mol/L，L/S=10(mL:g)，反应温度 160 ℃，氧气分压 0.2 MPa，搅拌速度 600 r/min 和反应时间 3 h。在此条件下，Cu 和 Ni 的浸出率分别为 99.26% 和 95.36%，而 Sb 和 Bi 的浸出率分别为 1.33%、0.59%，Sn 几乎不被浸出，可返回电解净化系统回收铜镍，达到预期目标。

(3) 通过实验可知，优化工艺条件下浸出过程 Sb、Sn、Bi 和贵金属基本不浸出，得到进一步富集，富集率近 2.7 倍，实现了高质利用。

参考文献：

- [1] 孔祥峰, 邓聚海. 铜阳极泥处理研究现状[J]. 世界有色金属, 2019(19): 169+171.
- [2] 谭芳香, 黄以伟. 废杂铜电解杂质控制的研究及生产实践[J]. 云南化工, 2020, 47(4):71-72.
- [3] 方红生, 李慧颖, 王晓阳, 等. 高砷高锡铅阳极泥脱砷与综合回收工业试验[J]. 矿冶, 2020, 29(4):111-115+136.
- [4] 刘斌莲, 魏洪洁, 王宝文. 铅电解阳极泥中锑铋的浸出试验[J]. 矿产综合利用, 2013(2):48-50.
- [5] Liu B L, WEI H J, WANG B W. Experiment of leaching of stibium and bismuth in the lead anode slime[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2013(2):48-50.
- [6] 张二军, 肖芬. 采用加盐氧化焙烧—硫酸浸出工艺从铜阳极泥中回收铜和银[J]. 湿法冶金, 2021, 40(2):106-109.
- [7] 刘小文, 周兆安, 毛谔章, 等. 从高锡高砷铜阳极泥中浸出铜镍的工艺研究[J]. 矿冶工程, 2019, 39(6):104-106+110.
- [8] 廖春发, 邹建柏, 徐振鑫, 等. 铜阳极泥定向脱除砷锑铋研究[J]. 中国有色冶金, 2021, 50(3):21-27.
- [9] 王俊娥. 某高砷铜精矿压力浸出工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2018(1):46-49.
- [10] 王海荣. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [11] 易建春, 邵坤. 火试金富集-火焰原子吸收法测定金矿石中金含量的不确定度评定[J]. 矿产综合利用, 2021(4):197-200.
- [12] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [13] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [14] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [15] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [16] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [17] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [18] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [19] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [20] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [21] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [22] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [23] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [24] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [25] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [26] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [27] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [28] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [29] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [30] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [31] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [32] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [33] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [34] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [35] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [36] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [37] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [38] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [39] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [40] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [41] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [42] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [43] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [44] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [45] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [46] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [47] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [48] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [49] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [50] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [51] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [52] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [53] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [54] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [55] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [56] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [57] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [58] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [59] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [60] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [61] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [62] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [63] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [64] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [65] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [66] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [67] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [68] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [69] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [70] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [71] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [72] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [73] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [74] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [75] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [76] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [77] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [78] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [79] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [80] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [81] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [82] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [83] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [84] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [85] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [86] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [87] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [88] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [89] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [90] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [91] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [92] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [93] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [94] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [95] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [96] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [97] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [98] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [99] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.
- [100] 王海波. 铜阳极泥湿法预处理工艺研究[J]. 中国有色冶金, 2018, 47(4):70-73.

(下转第 170 页)

was studied. The experimental results show that the recovery of manganese in cobalt hydroxide intermediate and the utilization of nickel and cobalt sulfide intermediate were 99.92% and 90.65%, respectively, at the optimum conditions including quality ratio of cobalt hydroxide intermediate and nickel-cobalt sulfide intermediate of 1/5, initial acidity of reaction of 4 mol/L, reaction temperature of 70 °C, liquid-solid reaction ratio of 3:1 and reaction time of 2.5 h. The residue could be used for leaching cobalt hydroxide intermediate as reductant. The objective of integrated leaching of cobalt hydroxide intermediate and nickel-cobalt sulfide intermediate was attained without the addition of any other oxygenant or reductant. Most importantly, the integrated process leaching is simple and feasible to operate and suitable for industrial production.

Keywords: Metallurgical Engineering; Cobalt hydroxide; Nickel-cobalt sulfide; Intermediate; Integrated leaching

////////////////////////////////////

(上接第 164 页)

Pretreatment Process of Polymetallic Complex Copper Anode Slime by Oxygen Pressure Acid Leaching

LI Jun, ZHOU Zhaoan, LIU Xiaowen, SUN Yanjun, XU Guohong, MAO Anzhang, ZHOU Aiqing
(Guangdong Feinan Resources Recycling Co., Ltd., Zhaoqing 526233, Guangdong, China)

Abstract: The removal of copper and nickel from complex copper anode slime by oxygen pressure acid leaching was studied. The effects of reaction temperature, sulfuric acid concentration, liquid-solid ratio, stirring speed, oxygen partial pressure and reaction time on the removal of copper and nickel were investigated. The results show that, at the following optimal conditions, including anode slime of 30.0 g, 1.5 mol / L sulfuric acid solution of 300 mL, liquid-solid ratio of 10 (mL:g), reaction temperature of 160 °C, oxygen partial pressure of 0.2 MPa, stirring speed of 600 rpm, and leaching time of 3 h, the leaching rates of Cu and Ni can reach 99.26% and 95.36%, respectively, while the leaching rates of Sb and Bi were only 1.33% and 0.59%, Sn was hardly leached. The leaching solution can be returned to the electrolytic purification system to recover Cu and Ni, and the enrichment of high-value metals (such as Sn, Sb, Bi and precious metals) were nearly 2.7 times.

Keywords: Copper anode slime; Removal of copper and nickel; Oxygen pressure acid leaching; Enrichment of precious metals; Pretreatment