

引用格式:解万文,文堪,王铎泰,等. 电解废液与锌冶炼烟尘协同处理试验研究[J]. 中国有色冶金, 2024, 53(2): 114-120.

XIE Wanwen, WEN Kan, WANG Huatai, et al. Experimental study on synergistic treatment of zinc electrolytic waste liquid and zinc smelting flue dust[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2024, 53(2): 114-120.

电解废液与锌冶炼烟尘协同处理试验研究

解万文^{1,2,3}, 文堪^{1,2,3}, 王铎泰^{1,2,3}, 刘远^{1,2,3}, 周华荣^{1,2,3}, 高昭伟^{1,2,3}

(1. 西部矿业集团科技发展有限公司, 青海 西宁 810006;

2. 青海省高原矿物加工工程与综合利用重点实验室, 青海 西宁 810006;

3. 青海省有色矿产资源工程技术研究中心, 青海 西宁 810006)

[摘要] 为综合回收锌冶炼烟尘及电解废液中的有价金属, 本研究进行了利用锌电解废液浸出锌冶炼烟尘试验, 通过一段浸出、碳酸钠中和沉锌及氢氧化钠中和沉镁等工序获得了沉锌产品和沉镁产品, 通过两段浸出、萃取反萃、中和沉铜等工序获得了富铜渣及副产物铅银渣。试验最佳工艺条件: 一段浸出为液固比4:1, 浸出温度80℃, 浸出时间75 min, 在此条件下, 锌浸出率可达78.69%, 铜浸出率仅为8.4%; 锌镁分离最佳终点pH值区间为6.86~7.80; 二段浸出最佳工艺条件为终点pH值1.08, 液固比3:1, 浸出温度75℃, 浸出时间10 h, 在此条件下, 铜浸出率可达86.84%。该研究可为炼锌厂开路除杂及综合回收有价金属提供新思路。

[关键词] 氧压浸出; 炼锌烟尘; 炼锌电解废液; 协同处理; 综合回收; 以废治废

[中图分类号] TF813; TF843; X758 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2024)02-0114-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2024.02.015

0 引言

铜作为一种重要的稀散金属, 其在工业领域应用十分广泛, 是战略性新兴产业发展不可或缺的原辅材料之一^[1-3], 锌冶炼过程中含铜物料是重要的原生铜回收来源^[4-6]。王大伟等^[7]采用中性浸出-酸性浸出-溶剂萃取工艺从含铜氧化锌烟尘中提铜, 考察了各影响因素对浸出效果的影响以及萃取条件对铜萃取率的影响, 结果表明, 中性浸出锌后再酸性浸出铜, 铜浸出率高达91.6%, 铜萃取率超过90%; 唐建文等^[8]采用一段加压浸出, 开展了高铜锌精矿的加压浸出过程中铜浸出研究, 并进行了单一因素试验, 获得了高铜锌精矿加压浸出过程中铜、锌浸出的

最佳工艺条件, 在最佳工艺条件下, 铜和锌的浸出率均达到95%以上。当前学者主要围绕从含铜锌精矿及含铜炼锌烟尘中展开提铜研究, 研究思路单一, 未将炼锌过程中存在的问题与铜回收进行统筹研究^[9-11]。

青海某冶炼厂采用氧压浸出技术进行湿法炼锌, 产生的浸出渣经中间工序及烟化处理得到烟尘, 该烟尘中富集了铜、铅、银等有价金属, 同时也含有氟、氯、砷、锑等有害杂质^[12], 该炼锌厂将烟尘返回湿法系统, 一方面造成烟尘的附加值降低, 另一方面烟尘中的有害杂质在湿法系统中循环, 对后续工序产生不利影响^[13]。此外, 在炼锌过程中产生的电解废液含镁离子较高, 且含酸过剩, 将电解废液返回湿法系统, 镁离子会对电积造成不利影响^[14-15], 将电解废液单独处理, 又会增加企业成本。鉴于此, 本研究将锌冶炼过程中存在的问题与有价资源回收结合起来, 按照以废治废的思路, 创新性采用电解废液浸出炼锌烟尘协同处理技术, 解决铜、锌、镁、综合回收及杂质元素开路等问题, 同时有效处理了电解废

[收稿日期] 2023-08-20

[第一作者] 解万文(1989—), 男, 甘肃武威人, 工程师, 主要研究方向为资源综合回收利用。

[通信作者] 刘远(1989—), 女, 河南人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为稀贵金属提取与提纯。

[基金项目] 青海省科技计划项目(2022-GX-C10)。

液。该研究可为锌冶炼厂有效处理锌冶炼烟尘及电解废液提供新思路。

1 试验

1.1 试验原料、设备及药剂

锌冶炼烟尘样品和电解废液取自某锌冶炼厂,

研究对烟尘样品进行了粒级筛分,结果显示该烟尘-325目^①粒级达90%以上。为探明烟尘中主要元素含量及锌的赋存状态,分别对样品进行了多元素分析和XRD分析,结果如表1和图1所示。电解废液pH值为0.6,其成分见表2。

由图1可知,烟灰中锌的主要赋存状态为ZnO、

表1 锌冶炼烟尘元素分析

Table 1 Multi-elementary analysis results of smoke dust

元素	Zn	Fe	Pb	In	As	Sb	F	Cl	Ag
含量	56.55	4.77	27.43	0.49	0.35	0.28	0.06	0.16	0.046

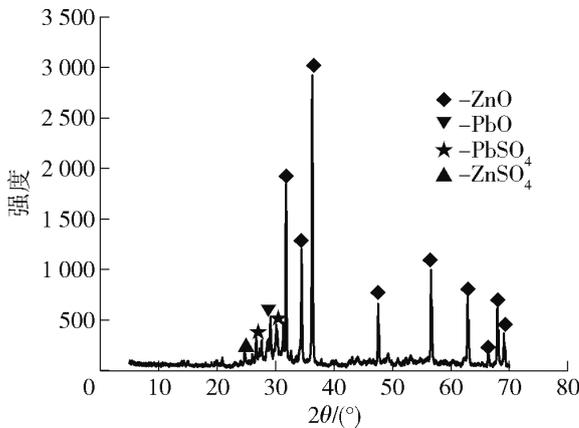


图1 锌冶炼烟尘 XRD 图谱

Fig. 1 XRD spectrum of smoke dust

表2 电解废液成分

Table 2 Composition of electrolytic waste liquid

成分	Zn	Mg	H ₂ SO ₄
含量/(g·L ⁻¹)	46.79	27.88	165

ZnSO₄, 铅的主要赋存状态为 PbO、PbSO₄。此外,通过化验分析检测发现钢的主要物相为 In₂O₃, 含少量的 In₂S₃、In₂(SO₄)₃。

试验过程中所用设备主要有:DF-101SZ 型集热式恒温加热磁力搅拌器,SHZ-III 型循环水真空泵,干燥箱,加热板。

所用药剂主要有:无水碳酸钠(分析纯),浓硫酸(98%),P204、磺化煤油、盐酸。

1.2 试验方法

本试验方法包括以下步骤:①直接采用废电解液对烟尘进行一段浸出,控制浸出条件实现锌钢分离,获得浸出液和浸出渣,利用锌粉对浸出液进行净化除杂,然后对除杂后液进行碳酸钠中和,控制中和条件实现锌镁分离,获得沉锌产品及沉锌后液,再对

沉锌后液进行氢氧化钠中和获得沉镁产品;②对浸出渣进行二段酸浸,控制酸浸条件,获得含钢浸出液及铅银渣,对浸出液进行净化除杂后萃取,以10%的P204+90%磺化煤油为萃取剂,在A/O=2:1、温度25℃时进行萃取,采用负载相与HCl体积比为1:1进行反萃,获得富钢液和萃余液,萃余液含锌可返回中和沉锌工序,利用氢氧化钠调节富钢液pH值,并采用氧化锌进行中和沉钢,获得富钢渣。

采用电感耦合等离子体测定法对固体样品元素进行检测分析,采用ICP法对液体样品元素进行检测分析,以渣计元素含量为依据计算浸出率。

具体试验流程图如图2所示。需要指出的是,固液分离时需要将浸出渣和铅银渣进行2~3次热水洗涤,以减少机械夹带。

1.3 试验原理

1.3.1 锌钢分离

采用废电解液浸出锌冶炼烟尘主要发生式(1)~(3)所示的化学反应。反应主要是锌钢氧化物的溶解,在浸出过程中,钢在pH值为2.5~3.5时开始水解为氢氧化钢沉淀,锌开始水解的pH值为5.54,因此可以通过控制浸出液固比来调节浸出液pH值,从而实现锌、钢的分离。当浸出液pH值控制在2.5以下时,锌、钢均进入溶液;当浸出液pH值控制在3.5~5.54时,锌进入溶液,而钢水解为沉淀进入渣中,即实现锌、钢分离。



① 325目=0.047mm。

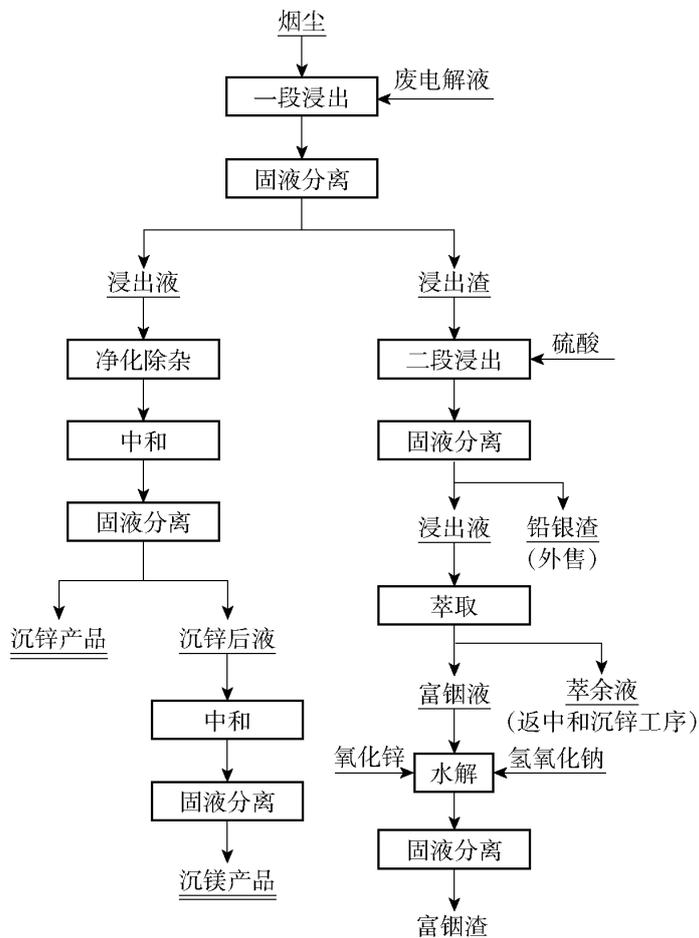


图2 试验流程图

Fig.2 Test flow chart

1.3.2 锌镁分离

含锌镁溶液在碳酸钠中和过程中主要发生式(4)~(5)所示反应。根据碳酸锌、碳酸镁的溶度积常数差异,可以通过调节pH值控制沉淀反应的先后顺序。当溶液pH值控制在6.0~8.0时,锌形成碳酸锌沉淀;当溶液pH值控制在8.0以上时,镁形成碳酸镁沉淀,从而实现锌镁分离。



2 结果与讨论

2.1 一段浸出液固比对锌和镉浸出率的影响

为了解电解废液用量对烟尘中锌和镉浸出率的影响,在浸出温度80℃、浸出时间1h的条件下,进行了不同液固比浸出试验,试验结果如图3所示。

由图3可知,随着液固比的增大,锌、镉浸出率分别呈现逐渐升高的趋势,且锌浸出率高于镉的浸出率,主要原因在于液固比增大,总酸度升高有利于锌和镉的浸出,且锌更易浸出。当液固比为3:1时,锌、镉的浸出率较低;当液固比为4:1时,此时浸出

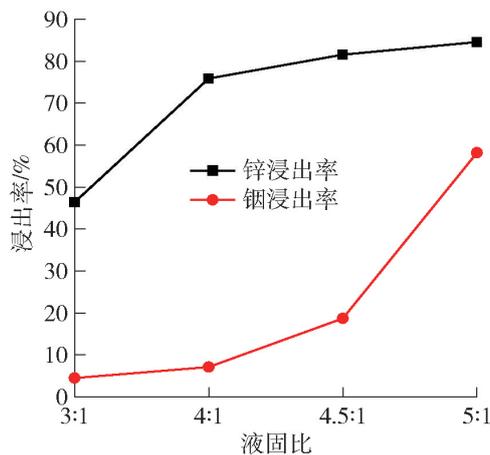


图3 液固比对锌和镉浸出率的影响

Fig.3 Effect of liquid-solid ratio on leaching rate of zinc and indium

液终点pH值为4.3,锌的浸出率为75.87%,镉的浸出率为7.1%;进一步增大液固比时,锌的浸出率升高较为缓慢,而镉的浸出率显著升高。为了保证锌、镉分离效果,同时避免镉过多的损失,选择4:1为最佳液固比。

2.2 一段浸出时间对锌和镉浸出率的影响

延长浸出时间有利于浸出反应更加彻底,为探究浸出时间对烟尘中锌和镉浸出率的影响,在浸出温度80℃、液固比4:1的条件下,考察浸出时间对浸出率的影响,试验结果如图4所示。

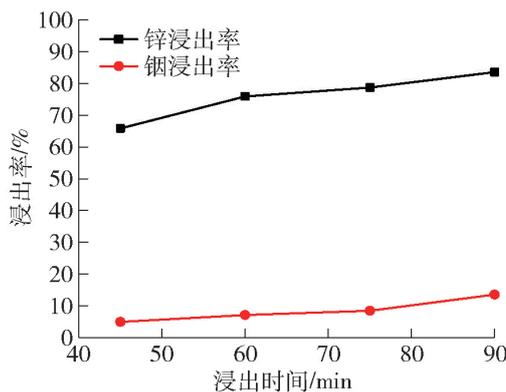


图4 浸出时间对锌和镉浸出率的影响

Fig.4 Effect of leaching time on leaching rate of zinc and indium

由图4可知,随着浸出时间的延长,锌、镉浸出率呈逐渐升高趋势。当浸出时间为45min时,锌、镉浸出率均相对偏低;当浸出时间延长至75min时,锌的浸出率为78.69%,镉的浸出率为8.4%;继续延长浸出时间,锌的浸出率缓慢升高,镉的浸出率也在逐渐增大。考虑锌镉分离效果,选择浸出时间

为 75 min 较适宜。

2.3 一段浸出温度对锌和镉浸出率的影响

为研究浸出温度对锌和镉浸出率的影响,在浸出液固比 4:1、浸出时间 75 min 的条件下,考察温度对浸出率的影响,试验结果如图 5 所示。

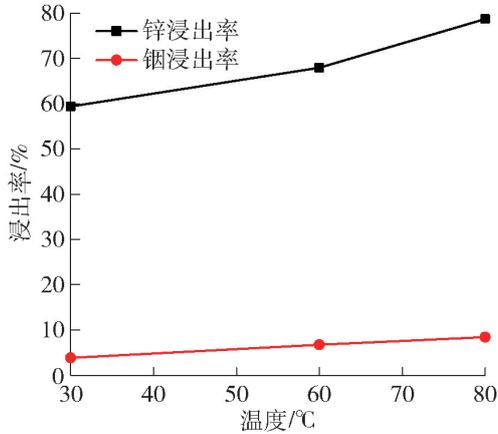


图 5 浸出温度对锌和镉浸出率的影响

Fig. 5 Effect of leaching temperature on leaching rate of zinc and indium

由图 5 可知,随着浸出温度的升高,锌、镉浸出率逐渐升高。当温度为 30 °C 时,锌浸出率相对较低,表明常温下直接采用电解废液浸出烟尘,锌镉分离效果不佳;当温度逐渐升高到 80 °C 时,锌浸出率显著提高,镉浸出率缓慢提高,可见温度对锌浸出率影响较大。提高浸出温度有利于加快锌的浸出速率,选择最佳浸出温度为 80 °C。

2.4 终点 pH 值对锌镁分离效果的影响

为获得沉锌产品,采用碳酸钠对一段浸出液进行锌、镁分离试验,考察终点 pH 值对锌镁分离效果的影响,试验结果见图 6。

由图 6 可知,随着终点 pH 值的升高,锌和镁的沉淀率均呈现先升高后基本保持不变的趋势。当终点 pH 值为 6.86 时,锌的沉淀率较高,达到 97.65%,此时镁的沉淀率相对较低为 11.49%;当终点 pH 值升高到 7.80 时,锌的沉淀率为 99.83%,镁的沉淀率为 15.52%;继续升高终点 pH 值时镁的沉淀率显著升高,锌、镁分离效果变差。因此,终点 pH = 6.86 ~ 7.80 是锌镁分离效果最佳区间。

2.5 二段浸出终点 pH 值对镉浸出率的影响

对一段浸出渣进行浸镉试验,为考察终点 pH 值对镉浸出率的影响,在浸出温度 75 °C、浸出液固比 3:1、浸出时间 5 h 的条件下,考察终点 pH 值对镉

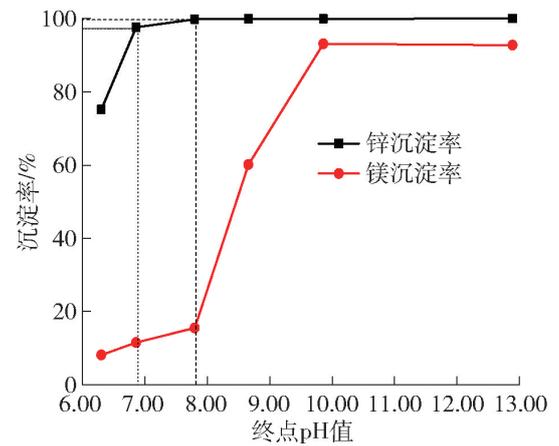


图 6 终点 pH 值对锌、镁分离效果的影响

Fig. 6 Effect of terminal pH on separation of zinc and magnesium

浸出率的影响,试验过程中采用硫酸调节终点 pH 值,试验结果见图 7。

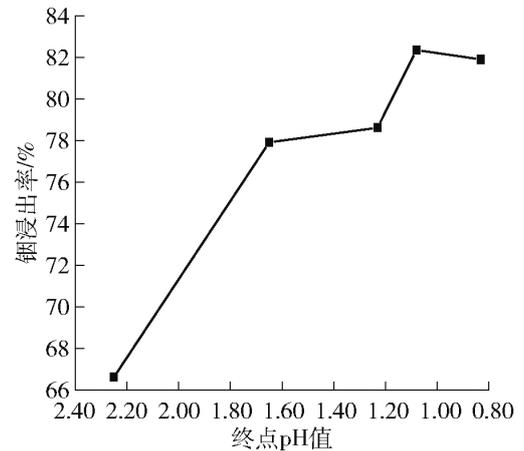


图 7 浸出终点 pH 值对镉浸出率的影响

Fig. 7 Effect of pH value at the end point of leaching on indium leaching rate

由图 7 可知,随着终点 pH 值的降低,镉浸出率呈现逐渐升高的趋势。当终点 pH 值为 1.08 时,镉的浸出率为 82.36%;继续降低终点 pH 值,镉的浸出率基本变化不大,这表明降低酸度有利于镉的浸出。选择镉浸出的最佳终点 pH 值为 1.08。

2.6 二段浸出时间对镉浸出率的影响

为了解二段浸出时间对镉浸出率的影响,在浸出温度 75 °C、浸出液固比 3:1、浸出终点 pH 值 1.08 的条件下,考察浸出时间对镉浸出率的影响,试验结果如图 8 所示。

由图 8 可知,随着浸出时间的延长,镉浸出率呈现逐渐升高的趋势。当浸出时间为 2 h 时,镉的浸出率仅为 78.23%;当浸出时间延长至 8 h 时,镉的

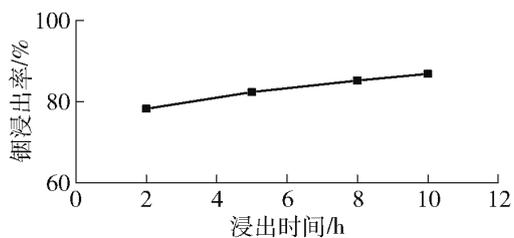


图8 浸出时间对钢浸出率的影响

Fig.8 The effect of leaching time on indium leaching rate

浸出率为 85.2% ;当继续延长浸出时间至 10 h 时,钢的浸出率为 86.84%。可见延长浸出时间可以进一步提高钢的浸出率,因此选择最佳浸出时间为 10 h。

2.7 产品分析

通过一段浸出、碳酸钠中和沉锌及氢氧化钠中和沉镁等工序,获得了沉锌产品和沉镁产品;通过两段浸出、萃取反萃、中和沉钢等工序获得了富钢渣及副产物铅银渣。对上述产品进行成分分析及 XRD 分析,分析结果如表 3、表 4、图 9、图 10 所示。

表3 产品成分分析

Table 3 Product composition analysis

产品名称	Zn	Mg	Pb	In	As	Sb	F	Cl
沉锌产品	47.8	1.27	—	0.024	0.006 8	0.002	0.009 1	0.001
沉镁产品	0.02	40.2	—	—	0.001 2	0.001	0.002 1	0.002
富钢渣	—	—	—	6.89	—	—	—	—
铅银渣	—	0.11	55.20	—	0.11	0.42	0.028	0.003 7

表4 最终废液成分分析

Table 4 Analysis of final waste liquid components

产品名称	Zn	Mg	Pb	In	As	Sb	F	Cl
沉镁后液	0.16	0.3	0.001 3	未检出	0.03	0.13	0.16	0.32
沉钢后液	0.014	0.11	0.002 1	0.001	0.1	0.12	0.23	0.15

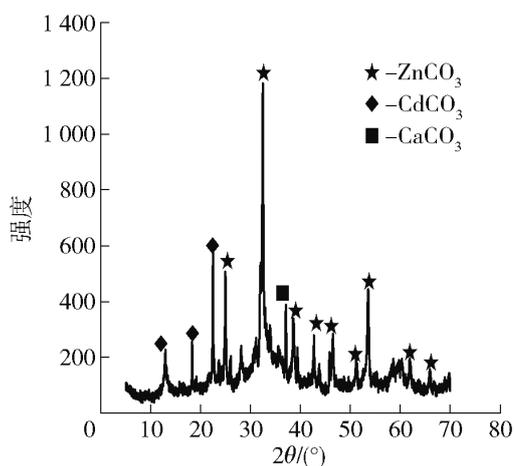


图9 沉锌产品 XRD 图谱

Fig.9 XRD pattern of zinc precipitation products

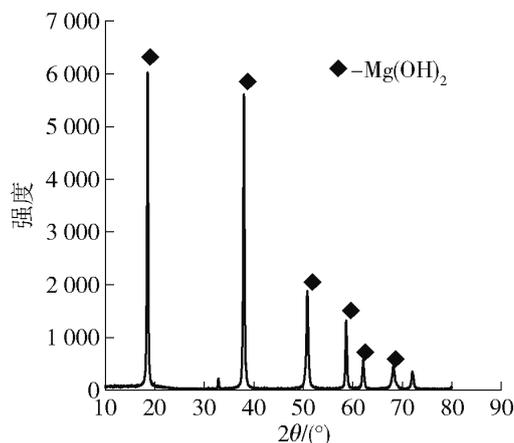


图10 沉镁产品 XRD 图谱

Fig.10 XRD pattern of precipitated magnesium products

由表 3 可知,沉锌产品的 Zn 含量为 47.8% ,并且含有少量的镁,氟、氯、砷、锑含量均较低,结合图 9 可知,沉锌产品主要成分为碳酸锌,含有少量碳酸钙及碳酸镉;沉镁产品的镁含量为 40.2% ,有害元素含量均较低,结合图 10 可知,沉镁产品主要成分为氢氧化镁。从表 3 还可知:富钢渣中钢的含量为

6.89% ;铅银渣中的铅含量较高,为 55.20% ,锑含量为 0.42%。结合表 3、图 9 及图 10 可知,协同处理试验可获得品位较高的碳酸锌、氢氧化镁、富钢渣、铅银渣,其中铅银渣可外售铅冶炼厂,富钢渣可进一步提纯为钢锭或外售至炼钢厂,碳酸锌及氢氧化镁通过进一步提纯,可作为高纯产品外售。由

表4可知,沉镁后液和沉镉后液中锌镁镉等有价金属含量较少,但含氟氯砷锑等杂质,2种废液可送至锌冶炼污水处理站进行处理,处理达标后外排。

2.8 效益分析

利用以废治废的思路,将炼锌电解废液与氧压浸出炼锌烟尘协同处理,一方面,解决了废酸和炼锌烟尘的处置问题,具有显著的环境效益;另一方面,可开路电解废液中的镁离子,同时回收烟尘中的稀散金属镉,具有较大的经济效益。经估算,炼锌厂烟尘中含镉23 t/a,每年新增镉产值超过3 000万元,产生经济效益将超过500万元;同时炼锌系统中镁离子含量由27 g/L降低至10 g/L以下,锌直流电单耗由3 400 kW·h降低至3 256 kW·h,提升了锌冶炼效率。

3 结论

1)通过一段浸出、碳酸钠中和沉锌及氢氧化钠中和沉镁等工序获得了沉锌产品和沉镁产品,通过两段浸出、萃取反萃、中和沉镉等工序获得了富镉渣及副产物铅银渣。

2)电解废液与锌冶炼烟尘协同处理的较佳工艺条件为:在一段浸出液固比4:1、浸出温度80℃、浸出时间75 min的条件下,锌浸出率可达78.69%,镉浸出率仅为8.4%;一段浸出液锌镁分离最佳终点pH值区间为6.86~7.80;在二段浸出液固比3:1、终点pH值1.08、浸出温度75℃、浸出时间10 h的条件下,镉浸出率可达86.84%。

3)通过协同浸出、中和沉锌镁、萃取提镉等工艺获得了锌、镁、镉产品,实现了锌镉综合回收,可为同类炼锌企业厂开路除杂及回收镉提供参考。

[参考文献]

- [1] 王树楷. 镉冶金[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:2-5.
WANG Shukai. Indium metallurgy [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006:2-5.
- [2] 胡平. 从冶炼烟尘中回收镉的产业化技术研究[J]. 中国有色冶金,2013,42(6):48-51.
HU Ping. Study on industrial technology of recovering indium from smelting dust [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2013, 42(6): 48-51.
- [3] 周洪杰. 优化工艺提高镉的回收[J]. 中国有色冶金,2013,42(1):57-59.
ZHOU Hongjie. Optimizing process and increasing the recovery of indium [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2013, 42(1): 57-59.
- [4] 周玉琳. 提高锌精矿中镉回收率的实践[J]. 有色金属(冶炼部
- 分),2015(1):50-53.
ZHOU Yulin. Plant Practice to improve indium recovery rate from zinc concentrate [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2015(1):50-53.
- [5] 周智华,莫红兵,徐国荣,等. 稀散金属镉富集与回收技术的研究进展[J]. 有色金属,2005(1):71-76,80.
ZHOU Zhihua, MO Hongbing, XU Guongrong, et al. Some problems in calculation formula of mineral particle magnetic attraction, 2005(1):71-76,80.
- [6] 方永水. 硫化氢在湿法炼锌镉萃余液净化除砷的应用研究[J]. 有色设备,2023,37(3):31-35.
FANG Yongshui. Research on the application of hydrogen sulfide in purification and arsenic removal of wet zinc smelting indium extract [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2023, 37(3): 31-35.
- [7] 唐建文,谢克强,韩开远,等. 高镉锌精矿废电解液加压浸出镉实验研究[J]. 云南冶金,2020,49(6):55-58,73.
TANG Jianwen, XIE Keqiang, HAN Kaiyuan, et al. Experimental study on zinc and indium extraction by pressure leaching of high indium-zinc concentrate waste electrolyte [J]. Yunnan Metallurgy, 2020, 49(6):55-58,73.
- [8] 王大伟,刘维,覃文庆,等. 高效提取氧化锌烟尘中镉新工艺研究[J]. 有色金属(冶炼部分),2015(11):26-29.
WANG Dawei, LIU Wei, QIN Wenqing, et al. New process for extraction indium from zinc oxide flue dust [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2015(11):26-29.
- [9] 温盛汇,龚傲,徐家聪,等. 锌氧压浸出渣中金属综合回收工艺研究进展[J]. 湿法冶金,2023,42(3):236-240.
WEN Shenghui, GONG Ao, XU Jiacong, et al. Research progress on metal comprehensive recovery from zinc-oxygen pressure leaching residue [J]. Hydrometallurgy of China, 2023, 42(3): 236-240.
- [10] 孔德鸿,吴心平,罗仙平. 氧压浸出炼锌尾矿渣无害化处理及有价金属综合回收方案选择[J]. 有色设备,2019(1):17-20,71.
KONG Dehong, WU Xinping, LUO Xianping. Harmless treatment of tailings and selection of comprehensive recovery scheme for valuable metals in a new type of oxygen pressure leaching of electric zinc plant tailings [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2019(1):17-20,71.
- [11] 何志军,郭鹏辉. 含镉烟尘中镉提取工艺研究[J]. 有色设备,2019(5):13-17.
HE Zhijun, GUO Penghui. Study on extraction process of indium from indium containing soot [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2019(5):13-17.
- [12] LIU Q, YANG S H, CHEN Y M, et al. Selective recovery of lead from zinc oxide dust with alkaline Na₂ EDTA solution [J]. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2014, 24(4): 1179-1186.
- [13] 姚应雄,陈先友,朱北平,等. 高氟氯次氧化锌烟尘的湿法炼

锌生产实践[J]. 中国有色冶金, 2019, 48(4): 24-28.

YAO Yingxiong, CHEN Xianyou, ZHU Beiping, et al. Production practice of zinc hydrometallurgy with high fluorine and chlorine secondary zinc oxide dust [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2019, 48(4): 24-28.

[14] 杨晓冬, 徐俊忠, 马先春, 等. 用新型除镁剂从高镁硫酸锌溶液中去除镁[J]. 湿法冶金, 2021, 40(2): 163-166.

YANG Xiaodong, XU Junzhong, MA Xianchun, et al. Removal of

magnesium from high magnesium zinc sulfate solution by a new inorganic magnesium removal agent [J]. Hydrometallurgy of China, 2021, 40(2): 163-166.

[15] 周中华, 苏腾飞. 高镁对锌电积的影响及控制[J]. 中国有色冶金, 2015, 44(5): 29-31, 36.

ZHOU Zhonghua, SU Tengfei. Effect of high-magnesium on zinc electrowinning and its control [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2015, 44(5): 29-31, 36.

Experimental study on synergistic treatment of zinc electrolytic waste liquid and zinc smelting flue dust

XIE Wanwen^{1,2,3}, WEN Kan^{1,2,3}, WANG Huatai^{1,2,3}, LIU Yuan^{1,2,3}, ZHOU Huarong^{1,2,3}, GAO Zhaowei^{1,2,3}

(1. Western Mining Group Technology Development Co. Ltd, Xining 810006, China;

2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Plateau Mineral Processing Engineering and Comprehensive Utilization, Xining 810006, China;

3. Qinghai Nonferrous Mineral Resources Engineering Technology Research Center, Xining 810006, China)

Abstract: In order to comprehensively recover valuable metals from zinc smelting fuel dust and electrolytic waste liquid, a synergistic treatment experiment of zinc smelting electrolytic waste liquid and oxygen pressure leaching zinc smelting fuel dust was researched, zinc and magnesium precipitation products were obtained through a process of leaching, neutralization of zinc precipitation with sodium carbonate, and neutralization of magnesium precipitation with sodium hydroxide, indium-rich slag and by-product lead silver slag were obtained through two-stage leaching, extraction-stripping and indium neutralization-precipitation, and the experimental conditions were optimized. The results show that the liquid-solid ratio is 4:1, the leaching temperature is 80 °C, and the leaching time is 75 minutes. under these conditions, the zinc leaching rate can reach 78.69%, while the indium leaching rate is only 8.4%; the optimal endpoint pH range for zinc magnesium separation is 6.86 to 7.80; the endpoint pH value is 1.08, the liquid-solid ratio is 3:1, the leaching temperature is 75 °C, and the leaching time is 10 h, which is the optimal process conditions for two-stage leaching, under these conditions, the leaching rate of indium can reach 86.84%, which can provide new ideas for open circuit impurity removal and comprehensive recovery of valuable metals in zinc smelting plants.

Key words: oxygen pressure leaching; zinc smelting dust; zinc electrolytic waste liquid; collaborative processing; comprehensive recovery; treat waste with waste